



UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

TESIS

Efectividad de la rizofiltración de la especie “junco” (*Schoenoplectus californicus*) en relación con la calidad de agua de la cuenca alta del Río Moche en condiciones experimentales. Noviembre 2016 – Febrero 2017

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

LISBETH KATHERINE SAAVEDRA ECHEVARRIA

LILIAM DENISSE TARRILLO POTENCIANO

CHICLAYO, Noviembre del 2017

FIRMA DEL ASESOR Y JURADOS DE TESIS

Lic. José Eliseo Ayasta Varona

ASESOR

Mg. Luis Fernando Terán Bazán

PRESIDENTE

Lic. Ana María Juárez Chunga

SECRETARIO

Mg. César Alberto Cabrejos Montalvo

VOCAL

DEDICATORIA

**Saavedra Echevarria, Lisbeth
Katherine**

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, por ser los pilares más importantes en cada etapa de mi vida por demostrarnos su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias y por sus consejos que han sabido guiarme en este arduo camino para convertirme en profesional. A mi hermano, quien siempre creyó en mí. A mis fieles amigos de cuatro patas que mientras redactaba esta tesis, me acompañaban dándome calor y compañía. A ti, mi gordo, por estar conmigo en todo momento, por cada palabra de aliento, por no permitir que me rinda, y por compartir tantos momentos juntos. A mis Rach Girls, por alentarme y por estar conmigo en cada logro; sin duda son las mejores amigas que puedo tener. Los amo.

**Tarrillo Potenciano, Liliam
Denisse**

A Dios, por permitirme llegar a este momento de mi formación profesional, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más y por la fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer.

A mi madre, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. Es un privilegio ser tu hija, sin duda eres la mejor. Y a ti, mi bebé, por ser el motor de mi vida para seguir adelante. Los amo.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a Dios, por dirigirnos siempre por el camino correcto, por habernos dado fuerza y valor para culminar esta etapa de nuestras vidas y por darnos salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestro asesor y amigo, José Eliseo Ayasta Varona, quien desde nuestra etapa de estudiantes hasta hoy nos sigue brindado su confianza y apoyo, es su excelente respaldo e interés que hicieron posible la realización de esta investigación, siempre compartiéndonos sus conocimientos y motivándonos a seguir investigando; todo ello nos inspira mucha admiración hacia él.

A nuestros profesores, por habernos guiado durante nuestra formación como profesionales, por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir sus conocimientos y experiencias que es de gran importancia para nosotras.

Finalmente, expresar nuestro agradecimiento a todos aquellos quienes de alguna manera estuvieron vinculados a la investigación realizada.

CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	10
II.	MARCO TEÓRICO.....	11
	2.1. Antecedentes del Problema.....	11
	2.2. Marco Legal.....	14
	2.3. Bases Teóricas – Científicas.....	18
	2.4. Definición de términos básicos.....	32
	2.5. Hipótesis.....	38
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
	3.1. Tipo de estudio y diseño de investigación.....	39
	3.2. Población y muestra de estudio.....	40
	3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos...41	
	3.3.1. Manejo de plantas.....	41
	3.3.2. Manejo de muestras de agua.....	44
	3.3.3. Establecimiento del sistema de hidroponía.....	46
	3.3.4. Evaluación y monitoreo de plantas y agua en el sistema hidropónico.....	48
	3.4. Procesamiento para análisis de datos.....	50
IV.	RESULTADOS.....	51
	4.1. Crecimiento de <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” y consumo de agua.....	51
	4.2. Efectividad de la rizofiltración.....	53
	4.3. Variación de la calidad del agua según parámetros de sólidos sedimentables y sólidos totales en suspensión.....	57
	4.4. Relación entre la rizofiltración y la calidad del agua.....	60
V.	DISCUSIONES.....	61
VI.	CONCLUSIONES.....	66
VII.	RECOMENDACIONES.....	67
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	ANEXOS.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Taxonomía de la especie junco (<i>Schoenoplectus californicus</i>).....	41
Tabla N° 2: Materiales a utilizar.....	49
Tabla N° 3: Instrumentos a utilizar.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Distribución del agua en la Tierra.....	19
Figura N° 2: Factores que afectan la concentración de elementos en la solución del suelo.....	29
Figura N° 3: Detalle de absorción de una estructura simplificada del corte de una raíz vegetal.....	29
Figura N° 4: Identificación de Junco (<i>Schoenoplectus californicus</i>).....	42
Figura N° 5: Colecta de propágulos (rizomas).....	43
Figura N° 6: Adaptación de las plantas al sistema de hidroponía.....	44
Figura N° 7: Obtención de la muestra de agua.....	45
Figura N° 8: Control y registro de las muestras de agua.....	46
Figura N° 9: Establecimiento del sistema de hidroponía.....	48
Figura N° 10: Evaluación y monitoreo de plantas y aguas.....	49
Figura N° 11: Crecimiento de <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco”, durante la rizofiltración.....	52
Figura N° 12: Crecimiento de <i>Schoenoplectus californicus</i> “junco” en época de estiaje y avenida.....	52
Figura N° 13: Consumo de agua durante la rizofiltración en época de estiaje y avenida.....	53
Figura N° 14: Niveles de Arsénico encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.....	54

Figura N° 15: Niveles de Cadmio encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.....	55
Figura N° 16: Niveles de Cromo encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.....	56
Figura N° 17: Porcentaje de eficiencia de la rizofiltración.....	57
Figura N° 18: Aspecto del Rio Moche durante la época de estiaje (superior) y época de avenida (inferior).....	58
Figura N° 19: Niveles de Sólidos Sedimentables encontrados en el agua del rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.....	59
Figura N° 20: Niveles de Sólidos Totales en Suspensión encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.....	60
Figura N° 21: Relación entre rizofiltración y calidad del agua del río Moche....	61

RESUMEN

Las actividades minero - metalúrgicas en el Perú son intensas y por lo tanto de gran significancia en el desarrollo económico nacional, pero también son responsables de los graves problemas de contaminación, el río Moche no es ajeno a este problema, diversos estudios realizados muestran presencia de metales pesados entre ellos el cromo, arsénico y cadmio; todos ellos en niveles superiores a los parámetros establecidos, sin embargo la naturaleza tiene sus propios métodos para limpiar sus aguas, es así que las plantas han tenido un papel fundamental en la depuración del agua, es por ello que se empleó la técnica de rizofiltración utilizando la especie “junco” (*Schoenoplectus californicus*) para determinar la efectividad de los metales pesados (Cd, Cr, As), cuyo resultado mostró un elevado grado de efectividad del Cadmio (Sin tratamiento 0.0886 mg/L, con tratamiento 0.00889 mg/L) y Arsénico (Sin tratamiento 0.03950 mg/L, con tratamiento 0.01704 mg/L) durante la época de estiaje, obteniendo más del 50% de efectividad en comparación a la efectividad llevada a cabo durante la época de avenida (Cadmio sin tratamiento 0.0232 mg/L, con tratamiento 0.00997 mg/L) y (Arsénico sin tratamiento 0.19249 mg/L, con tratamiento 0.18601 mg/L), sin embargo cabe señalar que la presencia de Cromo aumentó considerablemente (Época de estiaje: Sin tratamiento 0.003 mg/L, con tratamiento 0.0071 mg/L; época de avenida: Sin tratamiento 0.0033 mg/L y con tratamiento 0.0077 mg/L), pese a ello no sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental en la categoría 3 (para riego de vegetales)

Palabras claves: Contaminación, metales pesados, rizofiltración.

ABSTRACT

The mining - metallurgical activities in Peru are intense and therefore of great significance in the national economic development, but they are also responsible for the serious pollution problems, the Moche River is no stranger to this problem, several studies have shown the presence of heavy metals including chromium, arsenic and cadmium; all of them at levels higher than the established parameters, however nature has its own methods to clean its waters, so plants have played a fundamental role in water purification, which is why the rhizofiltration technique was used. the species "reed" (*Schoenoplectus californicus*) to determine the effectiveness of heavy metals (Cd, Cr, As), whose result showed a high degree of effectiveness of Cadmium (Without treatment 0.0886 mg/L, with treatment 0.00889 mg/L) and Arsenic (Without treatment 0.03950 mg/L, with treatment 0.01704 mg/L) during the dry season, obtaining more than 50% of effectiveness in comparison to the effectiveness carried out during the avenue season (Cadmium without treatment 0.0232 mg/L , with treatment 0.00997 mg/L) and (Arsenic without treatment 0.19249 mg/L, with treatment 0.18601 mg/L), however it should be noted that the presence of Chromium increased considerably (Time of low water: S in treatment 0.003 mg/L, with treatment 0.0071 mg/L; avenue season: Without treatment 0.0033 mg/L and with treatment 0.0077 mg/L), despite this does not exceed the Environmental Quality Standards in category 3 (for irrigation of vegetables)

Key words: Pollution, heavy metals, rhizofiltration.

I. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Río Moche, localizada en el departamento de La Libertad, cuyas aguas son utilizadas para diversas actividades entre las cuales resalta la agricultura, seguida de la ganadería y uso doméstico. Ha generado una serie de problemas en la salud de la población, puesto que hubo un incremento de las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) por la ingesta de alimentos contaminados por metales pesados; en cuanto al ecosistema, algunas especies acuáticas propias del lugar han ido desapareciendo, sin dejar de lado que la principal actividad económica se ve mayormente afectada como es el caso de la agricultura. Sin embargo, según las autoridades las aguas de dicha cuenca se encuentran con un alto grado de contaminación por diversos factores, siendo la principal fuente contaminante: la actividad minera, que se realiza en la sierra liberteña, y a todo esto se le suma los vertimientos de la población y de la actividad industrial. Actualmente este es un problema de nunca acabar, y que día a día viene en incremento. Ante esto nace el problema de investigación: ¿Cuál es la efectividad de la rizofiltración de metales pesados utilizando junco (*Schoenoplectus californicus*) en relación con la calidad del agua de la cuenca alta del Río Moche durante el periodo Noviembre 2016 – Febrero 2017?, planteándose los siguientes objetivos: (a) Determinar la efectividad de la rizofiltración de los metales Cd, Cr y As utilizando Junco (*Schoenoplectus californicus*); (b) Evaluar la variación de la calidad del agua de acuerdo a los parámetros organolépticos, físicos y químicos; (c) Establecer la relación que existe entre la rizofiltración de metales pesados y la calidad del agua de la cuenca alta del Río Moche.

Es por ello que el presente estudio, es el resultado de un trabajo de campo y análisis de la información, obteniendo diversos resultados propios de la investigación, así como alternativa de solución para combatir la contaminación ambiental que se viene dando en la Cuenca Alta del Río Moche, convirtiendo este estudio en un aporte para las futuras investigaciones que se realicen en este ámbito.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Coronel (2016) sostiene que la naturaleza tiene sus propios métodos para limpiar sus aguas, desde tiempos antiguos las plantas han tenido un papel fundamental en la depuración del agua debido a sus propiedades bioacumulativas, capacidad de proliferación y adaptación a casi cualquier ambiente; en este sentido, la fitorremediación es una técnica de biorremediación, que emplea plantas verdes para recuperar ambientes contaminados, como suelos, aguas superficiales o subterráneas, sedimentos, residuos radiactivos, entre otros.

Según Carpena y Bernal (2007) existen diferentes técnicas de fitorremediación que se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire, dentro de las cuales se distingue la rizofiltración, la cual Guevara et al. (2009); Otiniano et al. (2007); EPA (2001) lo definen como una técnica para descontaminar aguas, en donde el elemento contaminante se absorbe, forma complejos e interacciona con las raíces, acumulándose en éstas ya sea externa o internamente.

En un experimento realizado por Fernández (2013) para ver la capacidad acumuladora de cadmio en raíces de *Scirpus californicus* expuestas a diferentes concentraciones de nitrato de cadmio en condiciones de laboratorio, dio como resultado que la acumulación de cadmio en las raíces es mayor a medida que aumenta las concentraciones de exposición al metal. Asimismo notaron cambios de color y crecimiento de las raíces de *Scirpus californicus*; donde se observaron que en el 24% de las plantas presentaban un aumento en la aparición de nuevas raíces, esto se evidenció en las plantas con menor concentración de cadmio, mientras que en las plantas con mayor concentración de cadmio el 23% y 13% las plantas presentaban un aumento en la longitud radicular y un aumento en el grosor del diámetro de las raíces. Fernández (2013) asumen que a mayor concentración del metal pesado en la planta, ésta

tiene tendencia a sufrir perturbaciones evidenciadas por los cambios de color y crecimiento en la raíz y refirieron que el estrés por metales pesados puede inducir un engrosamiento de las raíces, incluyendo un incremento en la densidad y diámetro de las mismas, cuya condición favorece la capacidad de acumular mayor cantidad del elemento químico.

Los cambios biológicos debidos a la contaminación, ocurren en todos los niveles de organización, desde molecular hasta nivel de comunidad (Paredes, 1998; Alarcón, 2003; Figueroa, 2004). De acuerdo a Waldichuck (1974) y Ahumada (1994) dentro de los contaminantes tenemos los denominados metales pesados que son peligrosos debido a su alta toxicidad y largo período de residencia en suelos, sedimentos, flora y fauna (Paredes, 1998).

Marrugo et al (2007) manifiesta que Colombia posee extensiones litorales de interés económico, cultural, social y turístico, distribuido en las costas del océano Pacífico y el océano Atlántico por el norte, siendo esta la de mayor desarrollo turístico, pesquero, portuario y comercial, por lo cual en este medio, se han detectado niveles de contaminación por metales pesados, como el mercurio, en la cuenca del río San Jorge, que según estudios técnicos y científicos ha recibido parte de esta contaminación, representada en las concentraciones de metales encontrados en aguas, peces y sedimentos de la zona, como consecuencia de los procesos geoquímicos que ocurren en los suelos inundados, vertimientos de aguas servidas de núcleos poblacionales y de las actividades primarias, agroindustriales e industriales.

Para el caso de Colombia, las aguas del litoral Caribe han sufrido incremento en la contaminación por estos elementos durante las dos últimas décadas, siendo las zonas más afectadas aquellas cercanas o donde se han ubicado los principales asentamientos humanos, es el caso de las ciudades de Cartagena, Barranquilla, 20 Santa Marta,

Coveñas, Tolú y Riohacha en el Caribe y Buenaventura y Tumaco en el Pacífico (INVEMAR, 2001).

Según Corzo (1986), las actividades minero- metalúrgicas en el Perú son intensas y por lo tanto de gran significancia en el desarrollo económico nacional, pero al mismo tiempo son responsables de graves problemas de contaminación sobre el agua, suelos y cultivos como producto de la descarga de sus residuos sólidos y líquidos resultantes del proceso de extracción, flotación, disposición de relaves.

Por otro lado en un estudio realizado por Juárez (2012), los datos obtenidos de la calidad de agua del río Rímac muestran que los niveles de concentración en los últimos 8 años para el Cd y Cr han sido menores al LMP por lo que no existe un riesgo de contaminación por parte de estos metales, pero en cuanto al Pb es todo lo contrario, ha afectado la cuenca baja las cuales hacen riesgoso el cultivo de hortalizas en estas zonas. En el caso del As en el año 2000 en la cuenca baja fue 8 veces más de lo que el LMP lo permite y para el año 2002 en la cuenca alta fue de 45 veces más que el LMP. La Autoridad Nacional del Agua (ANA), identifica una serie de pasivos ambientales mineros como fuentes contaminantes en la cuenca Chancay, afirmando además que, en época de lluvias, los pasivos contribuyen a concentrar aún más los metales en suelos que naturalmente ya tienen una alta concentración metálica. (ANA, 2009); asimismo Mejía (2016), en un estudio de contaminantes por metales pesados en la cuenca Zaña-Lambayeque concluye que los metales pesados arsénico, cadmio, cromo y mercurio en época de estiaje se encontraban por debajo de los LMP y podrían ser usadas según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-aguas) para el Uso 3: Riego de Vegetales y Bebida para animales.

El Ministerio de Agricultura (1984) elabora un diagnóstico mediante un estudio de la calidad del agua de la cuenca del río Moche afirmando la presencia de sustancias tóxicas, observando que éstas sustancias se concentran en la cuenca alta del río y dentro de estos elementos se

encuentra cadmio, mercurio y plomo, los cuales son representados como elementos más dañinos por superar a casi todos los límites máximos permisibles para la mayoría de usos establecidos por la Ley General de Aguas. Así mismo, Malca, 1998; manifiesta que el color de las aguas del río Moche era de un color amarillento intenso debido a las reacciones entre iones férricos y el agua, esta reacción generaba una masa amarillenta que causaba la acidez y la exterminación de la biota del río Moche.

Huaranga et. al. (2012) confirman que en el año 2010 los niveles de concentración de fierro son los mismos de hace 10 años, además corroboran que la elevada concentración de fierro puede deberse al aporte de residuos industriales y aguas drenadas de la mina en explotación. Sin embargo en un estudio realizado por Corcuera y Sánchez (2012) para determinar las características físicas – químicas y microbiológicas del río Moche, se obtuvo como resultado ciertos valores que varían la calidad del agua arrojando valores de DBO5, sólidos totales disueltos, presencia de metales pesados como cromo, arsénico y cadmio; todos ellos en niveles superiores a los parámetros establecidos incumpliendo con el estándar de calidad para la conservación del ambiente acuático así como para el consumo humano.

2.2. Marco Legal

- **Ley Nº 29338. Ley de Recursos Hídricos.**

Artículo 2º. Dominio y uso público sobre el agua: El agua constituye patrimonio de la Nación. El dominio sobre ella es inalienable e imprescriptible. Es un bien de uso público y su administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación. No hay propiedad privada sobre el agua.

Artículo 3º. Declaratoria de interés nacional y necesidad pública:

Declárase de interés nacional y necesidad pública la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en el manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos para la conservación e incremento del agua, así como asegurar su calidad fomentando una nueva cultura del agua, para garantizar la satisfacción de la demanda de las actuales y futuras generaciones.

• **Ley 28611 “Ley General del Ambiente”.**

Artículo 1º Del derecho y deber fundamental: Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

• **D.S. N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.**

Artículo 7º Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos: El Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, conformado por el conjunto de instituciones, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales el Estado se organiza para desarrollar y asegurar la gestión integrada, participativa y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, la protección de la calidad y el incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos.

• **Ley N° 26821 – Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales.**

Participación ciudadana. Artículo 5: Los ciudadanos tienen derecho a ser informados y a participar en la definición y adopción de políticas relacionadas con la conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Se les reconoce el derecho de formular peticiones y promover

iniciativas de carácter individual o colectivo ante las autoridades competentes, de conformidad con la ley de la materia.

• **D S N° 002 - 2008 - MINAM - Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Para Agua.**

Artículo 1° Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua: Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I de dicho Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

• **Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.**

Artículo 1. Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua: Modifíquese los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, detallados en el anexo correspondiente a esta norma.

Artículo 2. ECA para Agua y políticas públicas: Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, y en el diseño de normas legales y políticas públicas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

• **Decreto Supremo N° 004 – 2017 MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones**

Artículo 1. Objeto: La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

• **Decreto Supremo N° 010-2010 MINAM. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.**

Artículo 1. Objeto: Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte del Decreto Supremo.

Artículo 3. Definiciones. Efluente Líquido de Actividades Minero – Metalúrgicas: Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

- a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;
- b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

- c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;
- d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;
- e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,
- f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

2.3. Base Teórica – Científica

El agua

La ONU (2006), manifiesta que el agua es esencial para la supervivencia y el bienestar de los seres humanos, y es importante para muchos sectores de la economía. Los recursos hídricos se encuentran repartidos de manera desigual en el espacio y el tiempo, y sometidos a presión debido a las actividades realizadas por el hombre. Asimismo Reynolds, 2002 sostiene que dichos recursos se encuentran en peligro, los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad, por negligencia, falta de conciencia y desconocimiento de la población acerca de la obligación de protegerlos y la carencia de autoridades, profesionales y técnicos, a los que les corresponde cuidarlos y utilizarlos.

Importancia del agua

A medida que la población va creciendo, las necesidades de utilizar mayor cantidad de recursos naturales también aumentan, uno de ellos es el agua, dicho recurso se ha visto seriamente afectado en los últimos años debido a una serie de eventos provocados por el hombre que amenazan con acabar con este recurso para dar paso al crecimiento de grandes urbanizaciones, desarrollo industrial y con ello el uso excesivo y contaminación del recurso hídrico.

“Los recursos de agua continentales (...) conforman un recurso esencial para la sustentabilidad de las sociedades humanas. Sin embargo parte del agua superficial y subterránea ya no provee agua de calidad suficiente para el consumo humano, y las consecuencias para la salud y la calidad de la vida que tiene esta degradación de las fuentes de agua dulce son tremendas”. (Hernández, 2005).

Es por ello que es nuestro deber velar por la calidad de los recursos hidrológicos, puesto que necesario la subsistencia del hombre, de los ecosistemas, de la actividad agrícola, entre otros.

Distribución del agua

En la figura se muestra la distribución total de los distintos tipos de agua existentes en el planeta. Se observa que el porcentaje más elevado está constituido por el agua de los océanos con un 97%, del 3% restante el 77% pertenece a las capas de hielo, glaciares y aguas marítimas interiores conforman y 22% a las aguas subterráneas, asimismo del 1% restante el 61% pertenece a los lagos, el 39 % a la atmosfera y humedad y menos del 0.4% pertenece a los ríos.

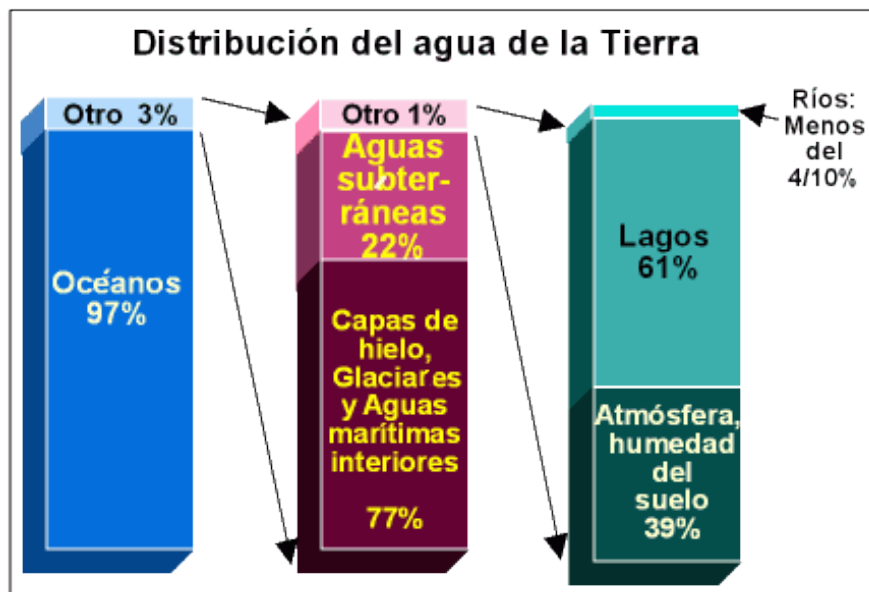


Figura N° 1: Distribución del agua en la Tierra.

Fuentes: USGS (United States Geological Survey), EPA (Enviroment Protection Agency)

Propiedades físico – químicas del agua

Según Guevara y Cartaya (1991), el agua es uno de los elementos más importantes desde el punto de vista fisicoquímico.

A simple vista, el agua pura es inolora e incolora, sin embargo adquiere una tonalidad diferente cuando se encuentra en grandes volúmenes. Guevara y Cartaya, dice que la tonalidad azul del agua se debe a la refracción de la luz al atravesarla, ya que absorbe con mayor facilidad las longitudes de onda larga (rojo, amarillo, naranja) que las longitudes de onda corta (azul, violeta), desviando lentamente estas otras, provocando que en grandes cantidades de agua esas ondas cortas se hagan apreciables.

“Henry Cavendish descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento. Estos resultados fueron anunciados por Antoine - Laurent de Lavoisier (1743 – 1794) en la Academia Francesa en 1783, dando a conocer que el agua estaba formada por oxígeno e hidrógeno. En 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac (1778 – 1794) y el naturalista y geógrafo alemán Alexander von Humboldt (1769 – 1859) publicaron un documento científico que demostraba que el agua estaba formada por dos volúmenes de hidrógeno por cada volumen de oxígeno (H₂O)”. Guevara y Cartaya (1991). Las propiedades físicas y químicas del agua que más sobresalen son:

Color

Castro, 1989. Afirma que esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Asimismo Krause y Stover, 1982. Sostienen que aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del

agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal;
- La descomposición de la materia;
- La materia orgánica del suelo;
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y
- Una combinación de los procesos descritos.

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Turbidez

Sorg (1997). Sostiene que la turbidez es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbidez es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

Olor y sabor

Según Trelles (1978), el sabor y el olor están estrechamente relacionados. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor.

En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

Asimismo, Blanco (1972) afirma que las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de

desechos industriales. En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo.

Sólidos en suspensión

Logsdon y Symons (1973), definen que los sólidos en suspensión corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro.

Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, entre otros. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente. (Garay y Ramírez, 1993).

PH

Rodier (1981), afirma que el pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.

Alcalinidad

Según la EPA (1978), la alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica.

Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

Conductividad

Guevara y Cataya (1991), manifiesta que la conductividad es la capacidad del agua para llevar corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad y valencia, así como la temperatura ambiental. Hay conductores de electrones que son relativamente buenos los cuales están formados por moléculas de compuestos inorgánicos a diferencia de las moléculas de compuestos orgánicos que son pobres conductores de corriente eléctrica.

Usos:

Si bien es cierto nuestro planeta posee una gran cantidad de agua, solo se puede utilizar una pequeña parte del mismo, puesto que la mayor parte del agua no es apta para el consumo humano.

“La mayor parte del agua se emplea en riegos agrícolas, como medio en ciertos procesos industriales (...). Aproximadamente el 40% del agua se emplea en el riego agrícola, más del 50% se usa en la industria, incluyendo las plantas de generación de energía eléctrica por medio de vapor, que representan más o menos tres quintas partes del uso industrial y sólo el 10% se emplea para los abastecimientos públicos municipales de agua”. (Barba, 2012).

Contaminación del agua

El agua por naturaleza tiene la capacidad de auto purificarse, sin embargo, en los últimos años las fuentes de agua han sido utilizados

como vertederos de una serie de contaminantes, lo cual ha perjudicado su capacidad de regenerarse, puesto que los desechos que se vierten es cada vez mayor.

“La contaminación ha aumentado en los últimos años y también ha decrecido la calidad de muchos depósitos de agua que son ocasionados por las termoeléctricas. El aumento en la actividad industrial ha incrementado la polución de las aguas de la superficie terrestre y está contaminando cada día los depósitos de agua subterráneas (...) Al aumentar la contaminación el oxígeno del agua se agota y hace que muchos animales acuáticos mueran por asfixia, ya que las bacterias aeróbicas presentes en el agua lo consumen en el proceso de biodegradación”. (Barba, 2012).

Contaminantes del agua

Gallego, 2000. Sostiene que la contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

“Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua”. (Sagardoy 1993). “Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico”. (FAO 1993).

Fuentes puntuales y no puntuales

Contaminación puntual: René y Turrialba, 2005. Sostienen que la contaminación puntual es aquella que descarga sus aguas en un cauce

natural, proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique. En este punto el agua puede ser medida, tratada o controlada. Este tipo de contaminación está generalmente asociada a las industrias y las aguas negras municipales.

Contaminación difusa: Asimismo René y Turrialba, 2005. Afirman que la contaminación difusa es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está generalmente asociada con actividades de uso de tierra tales como, la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales.

La FAO, 1993. Afirma que entre las fuentes de mayor dificultad de controlar, y que causan mayor impacto, se encuentran las fuentes no puntuales de contaminación, caso de parcelas donde fluye el agua sobre la superficie de la tierra arrastrando nutrientes, fertilizantes, plaguicidas y otros contaminantes aplicados en las actividades agropecuarias y forestales. Asimismo Villegas, 1995. Manifiesta que este tipo de contaminación es causado por escorrentías de tierras agropecuarias, silvicultura, y ocupación urbana. No se produce de un lugar específico y único, sino que resulta de la escorrentía, precipitación y percolación, se presenta cuando la tasa a la cual los materiales contaminantes que entran en el cuerpo de agua, exceden los niveles naturales.

Por otro lado Ongley (1997), asegura que estos contaminantes consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos, y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas. La repercusión de estos contaminantes puede ir desde pequeños trastornos hasta graves catástrofes ecológicas sobre peces, aves, mamíferos y salud humana. La característica principal de estas fuentes es que responden a las condiciones hidrológicas.

Calidad del agua

Calidad del agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico,

riego, recreación e industria (Mendoza, 1976). Asimismo la FAO, (1993) indica que la evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud.

“Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad. Entre las causas de mayor impacto a la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de mayor importancia, está el aumento y concentración de la población, actividades productivas no adecuadas, presión sobre el uso inadecuado, mal uso de la tierra, la contaminación del recurso hídrico con aguas servidas domésticas sin tratar, por la carencia de sistemas adecuados de saneamiento, principalmente en las zonas rurales. De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública” (OMS, 1999).

Índices físico – químicos y biológico de la calidad del agua

“Los indicadores deberían ser explicados bajo el concepto de sostenibilidad dentro de un proceso lógico, fusionando los aspectos ecológicos, económicos y sociales. Estos se definen ante una situación única y dentro de un escenario específico” (Villegas, 1995).

Metales pesados

Eróstegui (2009), manifiesta: “Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles (...) los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos”.

El término metal pesado es ampliamente utilizado en materia de contaminación ambiental; una de las definiciones químicas más aceptada los define como metales con una densidad mayor o igual a 5 g cm⁻³ (Cañizares, 2000).

Por otro lado los metales pesados pueden convertirse en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas. La liberación de efluentes industriales, emisiones vehiculares, actividades agrícolas, extracción de minerales y el refinamiento de productos mineros son consideradas las principales fuentes de contaminación por metales pesados en los ecosistemas terrestres, acuáticos y aéreos (Jing, He y Yang, 2007).

Según Galán y Romero (2008), nos explican que los siguientes metales son tóxicos en grandes concentraciones como:

Arsénico, es un químico elemento notoriamente tóxico que se antiguamente se usaba en venenos mortales para animales e incluso a las mismas personas. Pero hoy en día es usado para el tratamiento de cáncer en la industria de medicina.

Cadmio, es un elemento que no es encontrado en grandes cantidades, pero su uso excesivo provocaría envenenamiento al ser humano afectando directamente a los órganos vitales.

Cromo, es un elemento natural que se encuentra en rocas, suelos, plantas, animales y en humos y gases volcánicos.

Captación de metales pesados por raíz.

Los microorganismos del suelo exudan compuestos orgánicos que estimulan la biodisponibilidad y facilitan la absorción de la raíz de una gran variedad de iones de metal que incluyen Fe^{2+} , Mn^{2+} y posiblemente Cd^{2+} (Bural, Dixon y Glick, 2000). Además se conocen bacterias quimiolitótrofas que poseen mecanismos de transferencia y movilización de metales, modificando las propiedades químicas del suelo rizosférico con efectos subsecuentes en la movilidad del metal contaminante (Vivas et al., 2006; Jing, He y Yang, 2007).

La micorrización permite la translocación de los metales de las raíces a los retoños favoreciendo la fitoextracción del metal (Citterio et al., 2005); por ejemplo, las micorrizas en maíz aumentan la absorción de Cd^{2+} y

Zn $^{2+}$ (Shen, Christie y Li, 2006). Las relaciones establecidas entre *Glomus mosseae* y algunas bacterias permiten que se aumenten en la rizosfera las actividades deshidrogenasa, fosfatasa y β – glucosidasa (Vivas et al., 2006).

Las poblaciones microbianas rizosféricas parecen tener un importante impacto en la fitorremediación de sitios contaminados por metales pesados. Afectan la movilidad y captación del metal en la planta por liberación de agentes quelantes, acidificación del suelo, solubilización de fosfatos y reacciones Redox, además producen fitohormonas que promueven el crecimiento vegetal. Las interacciones establecidas entre los metales presentes en el suelo, las plantas hiperacumuladoras y la microbiota de estos ecosistemas son estudiadas en profundidad en el contexto de la biotecnología ambiental, con el objetivo de implementar métodos factibles de remoción, recuperación o destoxificación de metales pesados (Khan, 2006).

Movilidad y solubilidad de As en el suelo

La solubilidad de los contaminantes en el suelo es un parámetro clave para conocer su movilidad. Dicha fase soluble está en equilibrio con otras muchas que hay en el suelo. La figura N° 2 detalla los factores que afectan a la concentración de un elemento en la solución del suelo. Una vez en la disolución del suelo, los elementos pueden presentar diferentes formas de especiación y actividad iónica (Sauvé, 2001). Las concentraciones típicas de arsénico en la solución del suelo en condiciones aerobias fueron <53 nM en suelos no contaminados, mientras en suelos contaminados por As llegaron a $2,3$ μ M (Wenzel, 2002). En suelos encharcados (en los que predomina el arsenito), las concentraciones típicas de As en la solución del suelo varían entre $0,01$ y 3 μ M (Zhao, 2009)

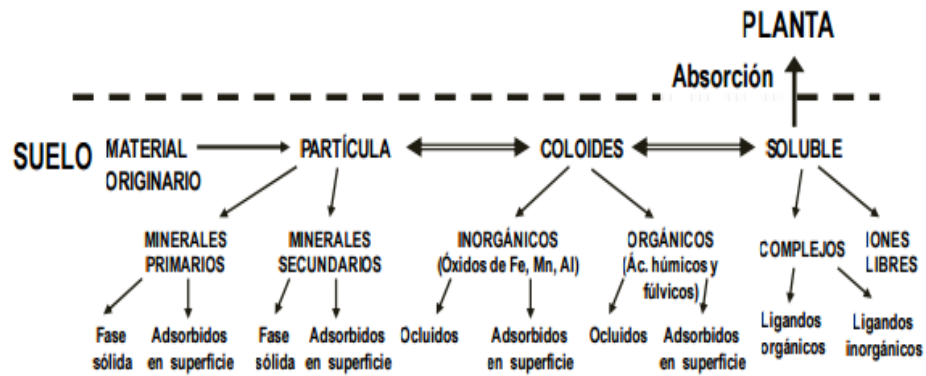


Figura N° 2: Factores que afectan la concentración de elementos en la solución del suelo.

Absorción de arsénico

La absorción radicular es la vía mayoritaria de entrada a la planta de muchos elementos y es necesario que el elemento en cuestión se encuentre disuelto para ser absorbido por la planta (Menguel y Kirkby, 2001).

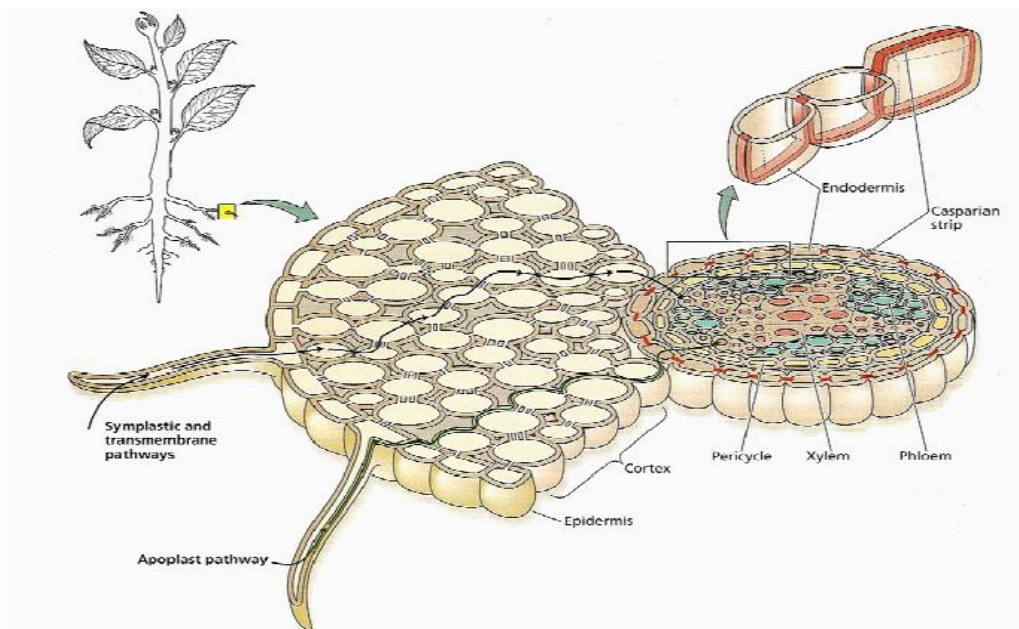


Figura N° 3: Detalle de absorción de una estructura simplificada del corte de una raíz vegetal.

Los iones solubilizados en la zona de la raíz entran en ella gracias al movimiento del flujo del agua o por difusión entre la solución que hay dentro del apoplasto de la raíz y la circundante. La solución del suelo y los iones disueltos pueden entrar directamente vía simplástica (entrada dentro de las células) o apoplástica, en un flujo desde la epidermis hasta la Banda de Caspari a través del espacio libre intercelular. La Banda de Caspari obliga a los elementos químicos a continuar el camino por la vía simplástica, es decir, a penetrar en el interior de las células vegetales. A nivel de la membrana celular la entrada de los iones (absorción) se produce de forma general mediante proteínas transportadoras. El paso de los iones se puede producir por transporte pasivo (difusión facilitada a favor de gradiente) o activo (en contra de gradiente con gasto de energía). Aunque hay distintos tipos de transportadores de membrana, en el caso del arsénico hay dos que tienen un papel fundamental en su absorción: las acuaporinas y los transportadores de fosfato. Las acuaporinas son canales de entrada de agua por los que pueden entrar otras moléculas no cargadas, como el ácido arsenioso. Varios autores han comprobado la implicación de las acuaporinas en la absorción de arsenito (Isayenkov y Maathuis, 2008; Ma et al., 2008; Meharg y Jardine, 2003). Experimentalmente se ha comprobado también que el arsenito comparte vías de entrada y transporte con el Si en plantas de arroz (Ma, 2006), debido a que existe un grupo de acuaporinas (NIPs) que juegan un papel fundamental en la absorción de moléculas sin carga como glicerol, amoníaco y ácido bórico, silícico y arsenioso (Zhao, 2009). Mientras, los transportadores de fosfato (de los que hay distintos tipos con distinta afinidad) pueden permitir la entrada de arseniato en muchas especies vegetales. Estudios fisiológicos han demostrado el papel principal de estos canales fosfato para la absorción de arseniato por las raíces vegetales (Meharg y Macnair, 1992; Esteban, 2003). El mecanismo de absorción de fosfato/arsenato implica un cotransporte del anión y protones, con una estequiometría de 2 H⁺ por cada anión (Zhao, 2009). Hasta el momento no se ha descrito ningún transportador específico para la absorción de arsénico. Se resume los procesos que ocurren en el sistema suelo-planta del arseniato, poniendo de manifiesto

lo compleja que es su dinámica. La absorción de moléculas orgánicas de As (las cuales son poco frecuentes en suelos) es menos efectiva que la de As inorgánico (Marín y col., 1992; Raab ,2007; Zhao, 2009).

Acumulación y transporte

Una vez en el interior de la célula, el arseniato es reducido a arsenito gastando glutatión reducido: $\text{AsO}_4^{-3} + 2 \text{GSH} \rightarrow \text{AsO}_3^{-3} + \text{GSSG}$, catalizado por la actuación de arseniato reductasas. Así se ha comprobado que la mayoría del arsénico en tejidos vegetales está presente en la forma de arsenito independientemente de lo que hubiese en la solución de cultivo. Esta forma tiene una alta afinidad por los grupos $-\text{SH}$ y suele ser complejada y almacenada en la vacuola, pero también puede transportarse vía xilema a otros tejidos vegetales. El movimiento xilemático está gobernado por el flujo de agua creado por la corriente de transpiración, pero también está mediado por proteínas transportadoras de membranas. Recientemente se ha descrito un transportador localizado entre la exodermis y endodermis vegetal (Lsi2), inicialmente implicado en la nutrición de Si, que permite la entrada de arsenito hacia el xilema. El transporte de As en la mayoría de especies vegetales no es generalmente muy efectivo y suele permanecer en las raíces, excepto en aquellas plantas con una capacidad excepcional de acumular As en parte aérea. La acumulación de arsenito en vacuola puede influir en la baja tasa de llegada del As al xilema lo que puede proteger a zonas sensibles de la parte aérea de la llegada del elemento tóxico. El transporte xilemático de As tiene gran importancia porque va a determinar la distribución y localización del metaloide en la planta. Dicho transporte ha sido estudiado intensamente en los últimos años con resultados interesantes, aunque contradictorios en algunos aspectos. La reducción de As(V) a (III) en la raíz parece un proceso clave para bloquear el transporte de As en muchas especies vegetales. El fosfato es un anión altamente móvil en planta, por lo que cabría esperar por analogía que el arseniato lo sea también. Dicha hipótesis fue comprobada en plantas mutantes de *A. thaliana* cuya arseniato reductasa había sido silenciada, que tuvieron un ratio cuya Raíz 25

veces mayor que las plantas silvestres (Dhankher, 2006). Dichos autores sugirieron que el aumento de dicha relación se debía a la mayor proporción de As (V) en la raíz disponible para el transporte vía xilema, presumiblemente a través de las vías del fosfato. La mayoría del As en plantas no acumuladoras se encuentra en forma de As(III) , por lo que dicha reducción a nivel radicular podría estar relacionada con algún mecanismo fisiológico en las plantas que limite el flujo del As en el xilema y proteja la parte aérea del metaloide. Adicionalmente, la mayoría del As en raíz se encuentra en forma complejada en plantas (Vázquez, 2005), y se ha observado una correlación negativa entre el porcentaje de As complejado por grupos –SH en la raíz y la translocación del As hacia la parte aérea. A este respecto, postulan que el As complejado no es transportado por la vía xilemática. En cuanto a las plantas hiperacumuladoras de As, algunos autores han encontrado pruebas directas usando preferentemente sincrotrón y usando cromatografía líquida acoplada a ICP como técnicas de estudio de que el As es transportado de la raíz a la parte aérea como As(V) y luego se almacena en las frondes como As(III). Sin embargo, se encontró que la mayor actividad arseniato reductasa en las raíces de *P. vittata*, hipotetizando que el transporte xilemático en el helecho debería producirse mayoritariamente como arsenito. En cualquier caso, tanto en plantas no acumuladoras como acumuladoras parece que el As se almacena en la vacuola vegetal una vez dentro del citoplasma celular, para impedir su interferencia en el normal funcionamiento celular. Aunque para As no se ha descrito ningún mecanismo similar hasta la fecha, cabe destacar que para otros elementos traza se ha descrito como hay tejidos menos activos metabólicamente que son susceptibles de almacenar el elemento tóxico de forma menos dañina para la planta, como son tejidos epidérmicos (Vázquez, 1992).

2.4. Definición de términos básicos

Se utilizó el Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana del Ministerio del ambiente 2012 (MINAM) para definir los términos del Marco Conceptual que se presenta a continuación:

Accidentes ambientales

Evento o circunstancia de origen natural o antropogénico que afecte directa o indirectamente el medio ambiente.

Agua

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

Ambiente

Es el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico, que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia.

Bioacumulación

Acumulación de determinadas sustancias químicas en tejidos de organismos vivos de manera directa o a través de la cadena alimenticia, alcanzando concentraciones mayores que en el ambiente al que está expuesto. Usualmente se refiere a la acumulación de metales, pero el concepto también aplica a las sustancias orgánicas persistentes, como los compuestos organoclorados.

Calidad ambiental

Condición de equilibrio natural que describe el conjunto de procesos geoquímicos, biológicos y físicos, y sus diversas y complejas interacciones, que tienen lugar a través del tiempo, en un determinado espacio geográfico. La calidad ambiental se puede ver impactada, positiva o negativamente, por la acción humana; poniéndose en riesgo la integridad del ambiente así como la salud de las personas.

Calidad de agua

Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua.

Conflicto socioambiental

Es un tipo de conflicto social cuya dinámica gira en torno al control, uso y/o acceso al ambiente y sus recursos. Están presentes también componentes políticos, económicos, sociales y culturales.

Contaminación ambiental

Acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente.

Contaminante ambiental

Toda materia o energía que al incorporarse o actuar en el ambiente degrada o altera su calidad a niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano y/o ponen en peligro los ecosistemas.

Cuenca hidrográfica

Unidad de manejo y planificación ambiental, compuesta por el área o espacio geográfico delineados por la cima de los cerros y la divisoria de aguas por el cual escurre el agua proveniente principalmente de las precipitaciones a un río, lago o mar; conformando un sistema en el que interactúan factores naturales, socioeconómicos y culturales.

Daño ambiental

Todo menoscabo material que sufre el ambiente y/o alguno de sus componentes, que puede ser causado contraviniendo o no disposición jurídica, y que genera efectos negativos actuales o potenciales.

Degradación (o deterioro) ambiental

Alteración de uno o varios de los componentes del medio ambiente (por ejemplo, el aire, el suelo, el agua, etc.), situación que afecta en forma negativa a los organismos vivos. Comprende a los problemas de contaminación ambiental y así mismo a los problemas ambientales referidos a la depredación de los recursos naturales.

Derechos de uso de agua

Para usar el recurso agua, salvo el uso primario, se requiere contar con un derecho de uso otorgado por la Autoridad Administrativa del Agua con participación del Consejo de Cuenca Regional o Interregional, según corresponda.

Desarrollo sostenible

Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.

Ecosistema

Es el complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.

Ecosistema degradado

Un ecosistema cuya diversidad y productividad se han reducido de tal modo que resulta poco probable que pueda recuperarse si no se adoptan medidas de rehabilitación o restauración, así como medidas de protección, recuperación y/o rehabilitación de los ecosistemas degradados y frágiles.

Efectividad

Lograr un resultado o efecto orientado a la ejecución de medidas o acciones ambientales frente a un problema ambiental.

Efluente

Descarga directa de aguas residuales que son descargadas al ambiente, cuya concentración de sustancias contaminantes es medida a través de los Límites Máximos Permisibles.

Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Estándar ambiental que regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Fuentes de contaminación

Es el lugar de donde un contaminante es liberado al ambiente. Las fuentes de contaminación pueden ser fuentes puntuales o fijas, así como fuentes dispersas o de área y también fuentes móviles.

Indicador ambiental

Es un parámetro, o un valor derivado de parámetros que busca proveer información describiendo de manera sintética una medida aproximada o evidencia del estado del ambiente y su impacto cuyo significado es mayor que las propiedades directamente asociadas al valor de los parámetros.

Límite Máximo Permisible (LMP)

Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Parámetro

Variable que, mediante la síntesis de la información ambiental, pretende reflejar el estado del medio ambiente, o de algún aspecto de él, en un momento y en un espacio determinados, y que por ello adquiere gran valor como herramienta en los procesos de evaluación y de toma de decisiones políticas sobre los problemas ambientales.

Pasivo ambiental

Impactos negativos generados por las actividades productivas o de servicios abandonadas, con o sin responsable identificable y en donde no se haya realizado un cierre de actividades regulado y certificado por la autoridad correspondiente.

Política Nacional del Ambiente

La Política Nacional del Ambiente constituye el conjunto de lineamientos, objetivos, estrategias, metas, programas e instrumentos de carácter público, que tiene como propósito definir y orientar el accionar de las entidades del gobierno nacional, regional y local; y del sector privado y de la sociedad civil, en materia ambiental.

Protección del Agua

La Autoridad Nacional, con opinión del Consejo de Cuenca, debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta en el marco de la Ley y demás normas aplicables.

Recurso natural

Todo componente de la naturaleza susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades, con valor actual o potencial en el mercado.

Recurso natural renovable

Recursos naturales capaces de auto - regenerarse sea naturalmente o con intervención humana.

Rizofiltración

Es una técnica alternativa de fitoremediación, que usa raíces de plantas para descontaminar aguas o efluentes líquidos.

Salud ambiental

Disciplina que comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluar, corregir, controlar y prevenir aquellos factores en el medio ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de presentes y futuras generaciones.

Sistema Nacional de Recursos Hídricos

El Sistema Nacional de Recursos Hídricos es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y tiene por finalidad articular el accionar del Estado en la gestión integrada y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación y el incremento de los recursos hídricos así como el cumplimiento de la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y el Plan Nacional de Recursos Hídricos en todos los niveles de gobierno y con la participación de los distintos usuarios del recurso y operadores de infraestructura hidráulica, tomando como unidades de gestión a las cuencas hidrográficas y a los acuíferos del país.

2.5. Hipótesis

La rizofiltración utilizando “junco” (*Schoenoplectus californicus*) muestra un elevado grado de efectividad sobre la disminución de los metales pesados, asegurando la calidad del agua del río Moche en los niveles de Cd, Cr y As y los parámetros organolépticos, físicos y químicos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio y diseño de investigación

Tiene como diseño de contrastación de hipótesis al Modelo Clásico que está enmarcado en el Diseño Experimental.



El Modelo clásico, tiene una primera medición la cual se hace antes de realizar los experimentos, posteriormente tiene dos muestras: la muestra A que es el grupo control sin ninguna manipulación y la muestra B que es el grupo experimental donde se hace la manipulación del grupo según el objetivo a seguir. Una vez culminado eso, se realizó una medición 2 donde las medidas obtenidas son el resultado de toda la experimentación realizada.

En el proyecto de investigación se hizo dos experimentos de modelo clásico:

Se tiene como muestra el junco, especie que presenta características de efectividad en la absorción de metales pesados, así como su adaptación al medio. La prueba se realizó en el periodo de avenida y de estiaje (noviembre 2016 y mayo 2017).

Periodo de avenida (meses lluviosos) donde se tiene como medición 1 el agua de la cuenca alta del río moche como muestra y se determinó sus características físicas y químicas; posteriormente tenemos un grupo

A en este caso es el junco sin ninguna alteración que sirve como grupo control, también se tiene un grupo B donde el junco se adaptó mediante un sistema de hidroponía a la muestra a estudiar. Luego de un periodo se hizo una medición 2 donde se vio la efectividad que tiene la rizofiltración para la absorción de metales pesados existentes en el agua por medio del junco, así como también se vio los niveles de toxicidad que afectan directamente a la especie empleada.

Periodo de estiaje (época de seca), se realizó el mismo procedimiento que en los meses de avenida.

Una vez obtenido los resultados de ambos experimentos se hizo una comparación para determinar la calidad del agua y cuan efectiva es el proceso de rizofiltración y en qué periodo es conveniente realizarlo.

3.2. Población y muestra de estudio

Agua de la Cuenca Alta del Río Moche con evidencia de contaminación por metales pesados provenientes de la minería.

Muestra:

Se estableció 3 puntos de muestreo de acuerdo a las condiciones de contaminación por metales pesados de cromo, cadmio y arsénico en la Cuenca Alta del Río Moche.

Muestreo:

La muestra seleccionada es de tipo no probabilístico por cuotas, debido que ya existe la intención de selección de la muestra estudiada que en este caso es el agua de la cuenca alta del Río Moche, donde hay presencia de los metales pesados provenientes de la minería. Se realizaron dos muestreos en el periodo de época húmeda y seca en los meses de noviembre 2016 y mayo 2017. Las muestras de agua fueron analizadas en un laboratorio especializado y que además sirvió de insumo para el proceso experimental de rizofiltración ex situ.

3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Manejo de plantas

Método de Rizofiltración por flotación

Para el manejo de las plantas se tomó en cuenta las indicaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA)

Fase I: Identificación de especies vegetales.

Como primer paso se hizo la determinación botánica de *Schoenoplectus californicus* (CAMey). Soják “Junco” utilizado en la Fitorremediación ya que esta especie que es apta para la absorción de metales pesados presentes en el agua. De acuerdo con las características físicas que presenta la zona de muestreo, la planta que más abunda es el Junco (*Schoenoplectus californicus*), dicha planta tiene la capacidad de absorber metales pesados como el cadmio, cromo y arsénico, es por ello que se decidió trabajar con esta especie vegetal.

Reino:	Plantae
División:	Angiospermae
Clase:	Monocotyledoneae
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Cyperaceae
Subfamilia:	Cyeroideae
Género:	Schoenoplectus
Especie:	<i>Schoenoplectus californicus</i> (CAMey.) Soják Nombre común (local : “junco”

Tabla N° 1: Taxonomía de *Schoenoplectus californicus* “Junco”.

La determinación taxonómica fue realizada por personal del Herbario PRG de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Cabe destacar que el nombre común utilizado es “junco” que corresponde a la denominación local del Río Moche. Teniendo en otros lugares como nombre común: “totora”.



Figura N° 4: Identificación de Junco (*Schoenoplectus californicus*)

Fase II: Colecta de propágulos (rizomas)

Para la realización de este trabajo se precisó recolectar el material vegetal de un sitio no contaminado por los metales a trabajar.

Una vez identificado el lugar, en este caso el lugar elegido fue el río Reque, puesto que está comprobado que no hay presencia de Cromo, Cadmio y Arsénico, se procedió a recoger las muestras de *Schoenoplectus californicus*, asimismo se tuvo en cuenta el estado y tamaño que va entre 30 y 90 cm de longitud de la planta.

Se recolectaron plantas completas procurando incluir la mayor cantidad de rizomas que se pudieran obtener. La recolección se realizó manualmente tratando de dañar lo menos posible tanto la parte aérea como la parte radicular de la planta. Una vez cosechadas, se colocaron en bolsas de plástico para su transporte al vivero.



Figura N° 5: Colecta de propágulos (rizomas).

Fase III: Adaptación de las plantas al sistema de hidroponía

Transcurridos los primeros 15 días a partir del crecimiento de las raíces, todas las plantas fueron trasladadas a las camas hidropónicas debidamente acondicionadas con anterioridad. Asimismo las plantas se mantuvieron en condiciones moderadas de iluminación, temperatura y humedad. La disposición de las plantas en el medio hidropónico se realizó con la técnica de raíz flotante.



Figura N° 6: Adaptación de las plantas al sistema de hidroponía.

3.3.2. Manejo de las muestras de agua

Para el manejo de muestras de agua se tomó en cuenta el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos dados por la Autoridad nacional del agua – DGCRH.

Obtención del agua

Para la realización de esta actividad se tuvo en cuenta los siguientes pasos:

- ◆ La muestra fue recolectada en envases de polietileno, herméticos y limpios. Los envases no fueron usados antes.
- ◆ Las muestras se mantuvieron a una temperatura igual o menor a 4°C.
- ◆ Se llevó un registro de cada muestra recolectada y se identificó cada recipiente pegando una etiqueta que contenía información como nombre del colector de la muestra, fecha, hora, ubicación exacta del punto de muestreo y temperatura del agua.
- ◆ Una vez obtenida la muestra, se envió al laboratorio para su evaluación respectiva.

- ♦ Las muestras de agua fueron recogidas en el centro del cuerpo de agua y en contra de la corriente al flujo de agua, evitando alterar las condiciones reales.
- ♦ En el caso de la época de avenida no fue posible recoger las muestras del centro del río por los riesgos que representaba las corrientes fuertes, la profundidad y falta de implementos de seguridad, es por ello que se ubicó el punto en zona de orilla para la toma de muestra, buscando que la muestra sea representativa del cuerpo de agua.



Figura N° 7: Obtención de la muestra de agua.

Control y registro de las muestras de agua

El registro del muestreo, la preservación y el análisis son esenciales para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras.

Etiquetas. Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, se pegó al frasco de muestra antes del muestreo etiquetas adhesivas en las que se anotó, con tinta a prueba de agua la siguiente información:

número de muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección, y preservación realizada.

Sellos. Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, se selló los recipientes con papel autoadhesivo y fue enviado al laboratorio



Figura N° 8: Control y registro de las muestras de agua.

3.3.3. Establecimiento del sistema de hidroponía

Para el establecimiento del sistema de hidroponía se utilizó el Manual Técnico de la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Localización del sistema hidropónico

Se contó con el apoyo de la Municipalidad provincial de Chiclayo, puesto que nos brindaron un espacio en el vivero San Luis, específicamente en el área destinada para el Comité de Adulto Mayor, dicha área cumplió con los criterios (iluminación, luz solar, poca exposición al viento, temperatura y humedad) para el establecimiento de un sistema hidropónico.

Características de los recipientes o contenedores

Las dimensiones (largo y ancho) de los contenedores varían de acuerdo a la cantidad que se requiere sembrar, la profundidad en cambio no debe ser mayor de 0.20 metros.

Y de acuerdo a la cantidad de plantas que se sembró (100 plantas en cada recipiente), las camas hidropónicas tuvieron te las siguientes medidas:

- ♦ Largo 1,50 metros.
- ♦ Ancho 1,0 metro.
- ♦ Profundidad 0.20 metros.
- ♦ Alto 0.80 metros.

Colocación del plástico (impermeabilización)

Para impermeabilizar el contenedor se necesitó un plástico de calibre 0,10; su función es evitar el humedecimiento y descomposición de la madera e impedir que se pierdan los nutrientes rápidamente. El color azul es para evitar la formación de algas y para dar mayor oscuridad a la zona de las raíces.

Seguidamente se procedió a colocarlo en el contenedor con mucho cuidado, para no romperlo ni perforarlo con las astillas de la madera, clavos salientes o u otros objetos. En las esquinas, el plástico quedó en contacto con el marco y con la base y por último se engrapó el plástico a los costados exteriores del marco del contenedor.



Figura N° 9: Establecimiento del sistema de hidroponía.

3.3.4. Evaluación y monitoreo de plantas y aguas en el sistema hidropónico

Una vez sembradas las plántulas en los recipientes, se realizó monitoreos semanales con el fin de ver el proceso de adaptación de las plantas.

Después de transcurrido un mes se procedió al retiro de las plántulas y nuevamente se hizo evaluaciones físicas y químicas del agua con el fin de ver si las plantas absorbieron los metales pesados. Se tomó en cuenta el tiempo y la cantidad de metales pesados absorbidos.



Figura N° 10: Evaluación y monitoreo de plantas y aguas.

Materiales

Primarios	Secundarios
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tiras de pH. ♦ Camas para hidroponía ♦ Almaciguero. ♦ Envases de polietileno. ♦ Plástico. ♦ Malla negra. 	<p>Tablas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Estándares de Calidad Ambiental para Agua. ♦ Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos. <p>Fichas técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Fichas, para el muestreo de agua según el laboratorio a tratar

Tabla N° 2: Materiales a utilizar.

Instrumentos

Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Termómetro. ♦ GPS
--------------	--

Tabla N° 3: Instrumentos a utilizar.

3.4. Plan de procesamiento para análisis de datos

Análisis de varianza

ANOVA

Del inglés Análisis Of VAriance, es teste estadístico ideado por Fisher. Esta técnica es un procedimiento en el cual la variación total de la variable dependiente se subdivide en componentes, la atribuible a los tratamientos y al error.

Este análisis por lo tanto permite comprobar si existen diferencias entre promedios de tres o más tratamientos y para ello se calcula el valor de F , y es equivalente al test de Student, salvo que éste último solamente sirve para dos grupos. Desde ya tenemos que dejar establecido que cuando encontramos el valor de F sabremos si existen diferencias entre los grupos, pero no nos dice entre cuales grupos; para esto, las poblaciones deben ser normales, con desviaciones estándar aproximadamente iguales y las muestras se deben seleccionar independientemente.

Distribución F

Los métodos de ANOVA requieren el uso de la distribución F . Ésta tiene las siguientes propiedades importantes:

La distribución F es continua, significa que puede tomar una cantidad infinita de valores entre 0 y más infinito.

La distribución F no puede ser negativa. Dado que el menor valor de F es cero.

La distribución F es positivamente sesgada, dado que la cola larga de la distribución se encuentra a la derecha, conforme el número de Grado de Libertad aumenta, tanto el numerador como el denominador, la distribución se aproxima a una distribución normal.

La distribución F es asintótica, conforme lo valores de X aumentan, la curva de la distribución F se aproxima al eje X, pero nunca lo toca.

El valor de la F está dado por:

$$F_{n1, n2} = \frac{\frac{SST}{k-1}}{\frac{SSE}{n-k}} = \frac{MST}{MSE}$$

$$\text{Suma de Cuadrados Total : } SS_{total} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$\text{Suma de Cuadrados Debido al Tratamiento : } SST = \sum \left(\frac{T_c^2}{n_c} \right) - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$\text{Suma del Cuadrados del Error : } SSE = SS_{total} - SST$$

IV. RESULTADOS

El proyecto se llevó a cabo en dos temporadas: época de estiaje y época de avenida, durante las cuales se realizó la rizofiltración de las aguas del Rio Moche, para ello se trabajó con 100 plantas de junco (*Schoenoplectus californicus*) y 132. 65 litros de agua contaminada a fin de determinar la mayor efectividad de la misma asociándola a las condiciones ambientales de la época; teniendo como resultado lo siguiente:

4.1. Crecimiento de *Schoenoplectus californicus* “junco” y consumo de agua:

Las estructuras vegetativas de “junco”, *Schoenoplectus californicus*, empleado para la rizofiltración de las aguas del Rio Moche, tuvo mayor crecimiento de sus escapos y rizomas durante la época de estiaje (3 semanas de control), situación que no sucede de igual manera durante la época avenida (5 semanas de control), tal como se aprecia en las figuras.



Figura N° 11: Crecimiento de *Schoenoplectus californicus* “junco”, durante la rizofiltración.

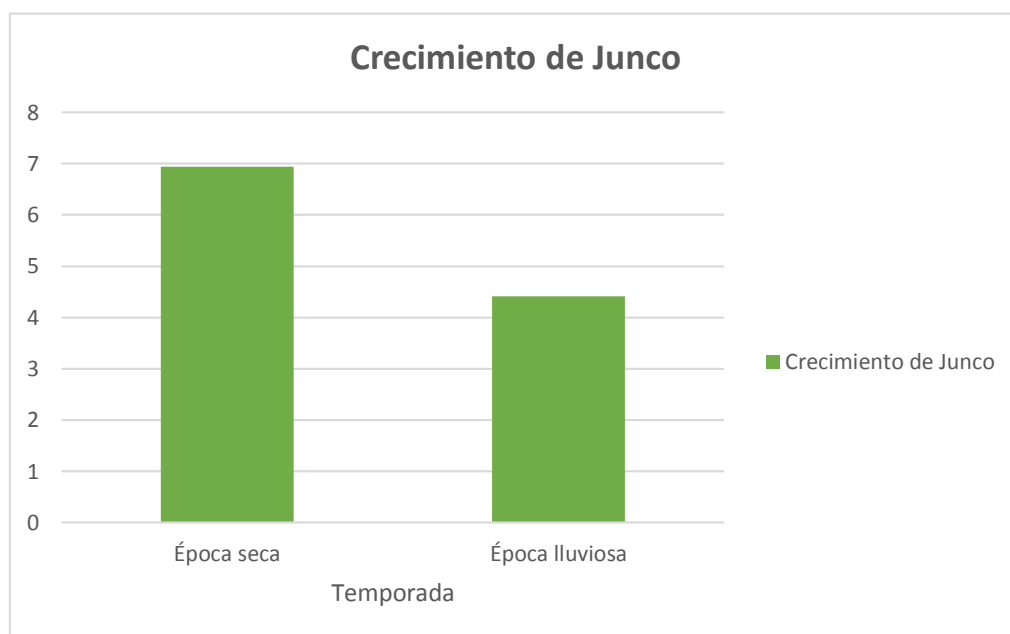


Figura N° 12: Crecimiento de *Schoenoplectus californicus* “junco” en época de estiaje y avenida.

Así mismo, el consumo de agua por parte de las plantas fue evaluado durante todas las semanas de la rizofiltración; en la primera semana no hubo consumo ya que es donde se inició la misma; a partir de la segunda semana se observa la diferencia del consumo de agua. Durante el primer muestreo, se tomó en consideración sólo tres semanas debido al factor climatológico (época de verano, durante los meses de Diciembre - Enero) a comparación del segundo muestreo que fue evaluado durante cinco semanas en la época de otoño, durante los meses Mayo - Junio (Figura N° 13).

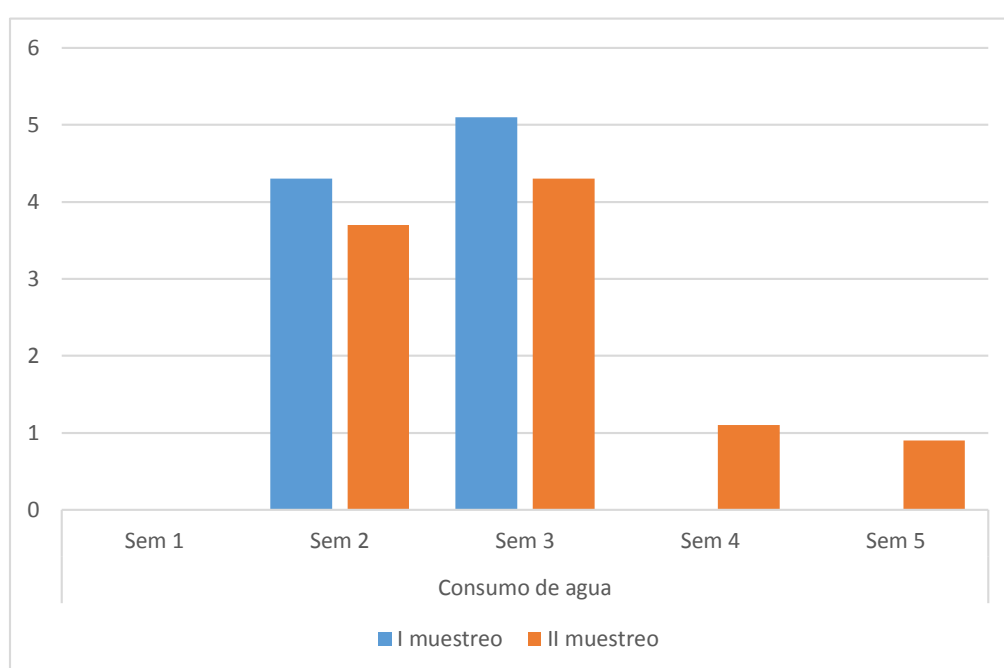


Figura N° 13: Consumo de agua durante la rizofiltración en época de estiaje y avenida.

4.2. Efectividad de la rizofiltración

El empleo de la rizofiltración como técnica de fitoremediación para el caso de los metales pesados Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), de acuerdo a los estudios se obtuvieron valores que sobrepasaban el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) sin haber aplicado la rizofiltración; para la segunda evaluación, los valores disminuyen y se encuentran debajo del ECA.

El Arsénico, en el primer muestreo durante la época de estiaje, sin tratamiento presentó un valor de 0.03950 mg/L y una vez realizado el tratamiento se obtuvo un valor de 0.01704 mg/L. Durante el segundo muestreo en la época avenida, se obtuvo, sin tratamiento un valor de 0.19249 mg/L y aplicando el tratamiento el valor obtenido es de 0.18601 mg/L. con lo cual queda demostrado que si existe efectividad de la rizofiltración frente al Arsénico. Durante la época de estiaje, la rizofiltración muestra un grado de efectividad del 56.86%, mientras que durante la época avenida, el grado de efectividad es del 3.37% (Figura N° 14).

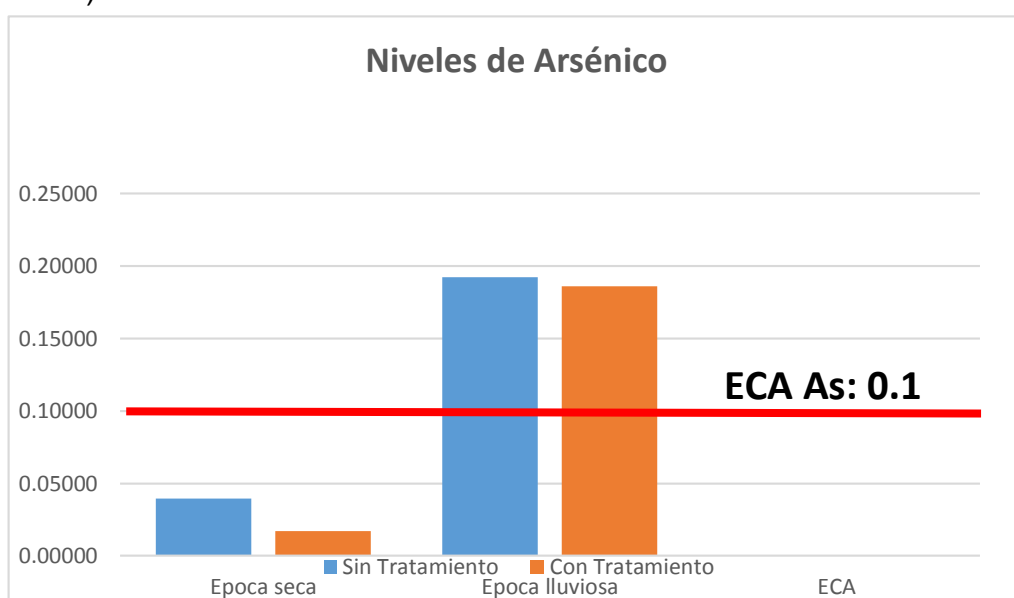


Figura N° 14: Niveles de Arsénico encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.

El cadmio, se obtuvo en el primer muestreo (época de estiaje), el valor de 0.0886 mg/L sin tratamiento y con tratamiento se obtuvo 0.00889 mg/L. Durante el segundo muestreo en la época de avenida, se obtuvieron los siguientes valores: sin tratamiento 0.0232 mg/L y con tratamiento 0.00997 mg/L, lo cual indica que el proceso de rizofiltración si se desarrolla. Durante la época de estiaje, la rizofiltración muestra un grado de efectividad del 89.97%, mientras que durante la época de avenida, el grado de efectividad es del 57.03% (Figura N° 15)

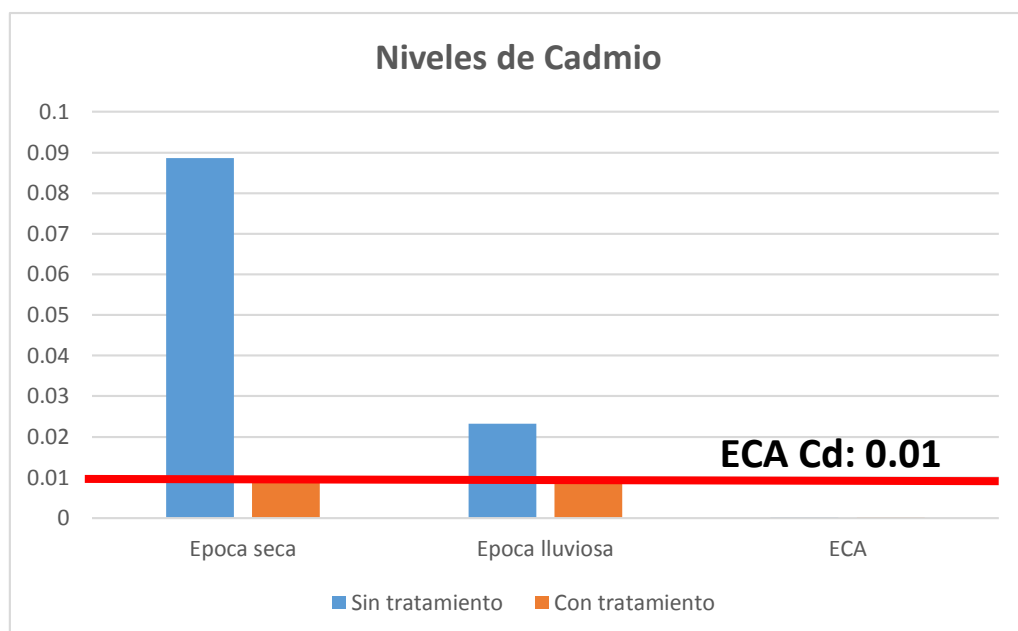


Figura N° 15: Niveles de Cadmio encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco”, en época de estiaje y avenida.

En el caso del Cromo sucede todo lo contrario, ya que hay un gran aumento en ambas temporadas, durante la época de estiaje se nota un aumento del 0.003 mg/L al 0.0071 mg/L y durante la época de avenida el aumento va desde el 0.0033 mg/L hasta 0.0077 mg/L. Durante la época de estiaje, la rizofiltración muestra efectividad negativa del -136.67%, mientras que durante la época de avenida, el grado de efectividad es del -133.33% (Figura N° 16).

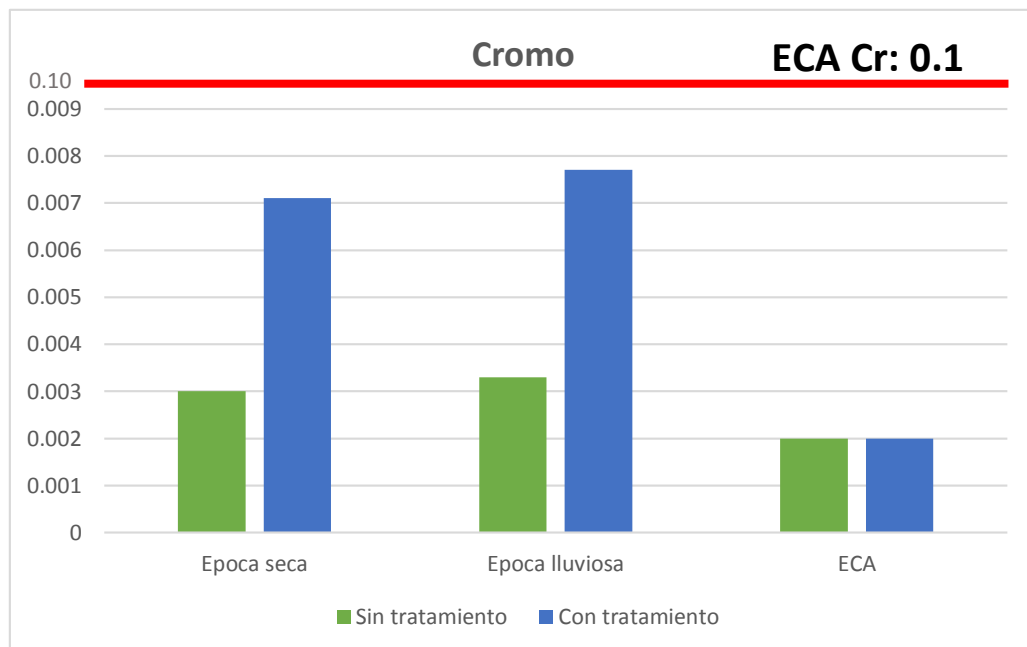


Figura N° 16: Niveles de Cromo encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.

El porcentaje de eficiencia de la rizofiltración aplicada en el agua del Rio Moche, varía según las épocas de estudio. Cabe resaltar que hubo mayor eficiencia durante la época de estiaje, donde el As y el Cd obtuvieron mayor o igual al 50% de eficiencia a comparación de la época de avenida donde el porcentaje era igual o menor que en la época anterior. En el caso del Cr en ambas épocas no hubo eficiencia, por lo que la rizofiltración no se logró realizar a comparación de los otros metales.

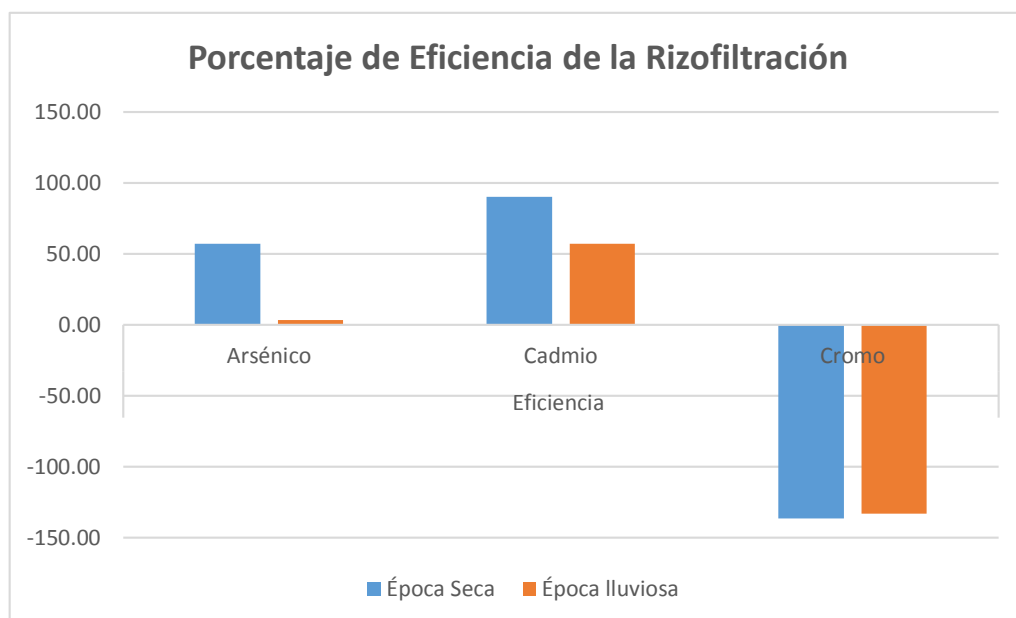


Figura N° 17: Porcentaje de eficiencia de la rizofiltración.

4.3. Variación de la calidad del agua según parámetros de sólidos sedimentables y sólidos totales en suspensión

La variación de la calidad del agua también depende de los sólidos que se encuentran en el cuerpo de agua, es por eso que el análisis de los muestreos realizados fueron acompañados del análisis de los parámetros de sólidos sedimentables y sólidos totales en suspensión, ya que influyen directamente en los componentes metálicos y no metálicos que se pueden encontrar, sobre todo en época avenida donde la recarga de agua viene acompañada de movilización de partículas del terreno que se remueven y aparecen en el muestreo. Asimismo, el color del agua del Río Moche, varía durante la época de estiaje (color ligeramente verdoso), con ligera corriente y poca vegetación, como se ve en las Figura N° 18 (fotografía superior); durante la época de avenida, el agua tiene un color amarillento-anaranjado, fuerte corriente y gran presencia de vegetación, como se puede observar en la fotografía inferior.



Figura N° 18: Aspecto del Rio Moche durante la época de estiaje (superior) y época de avenida (inferior).

En el parámetro de sólidos sedimentables se muestra gran variación que sobrepasa el estándar de calidad. Durante la época de estiaje se obtuvo un valor de 3.17 mg/L y al aplicar el tratamiento se obtuvo el valor

de 10 mg/L mientras que en la época de avenida, el primer valor es de 0.3 mg/L y éste aumenta a 9 mg/L en la época de avenida. (Figura N° 19)

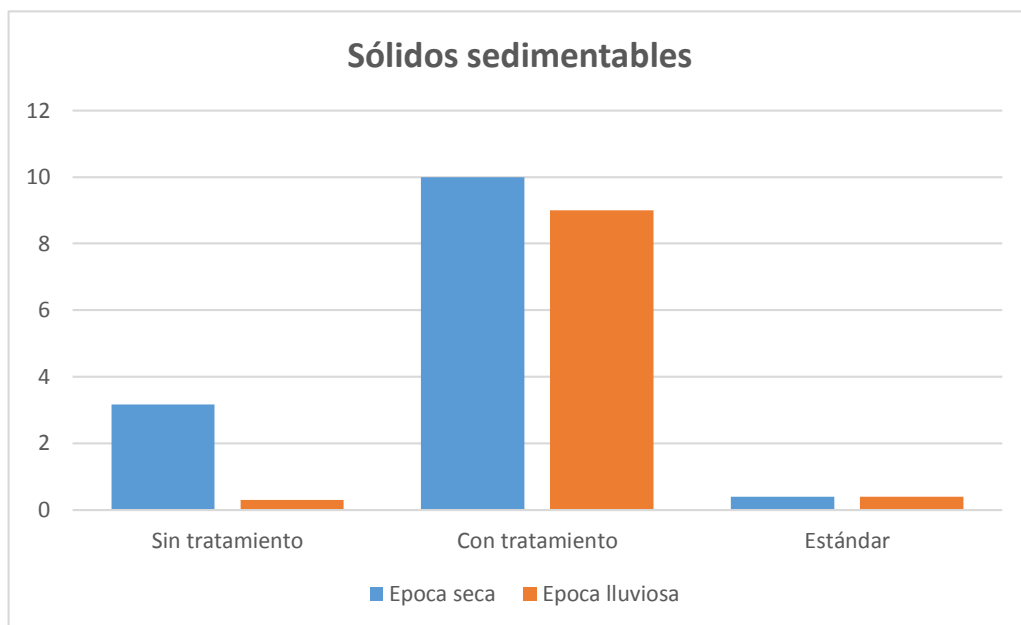


Figura N° 19: Niveles de Sólidos Sedimentables encontrados en el agua del rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.

En el caso de los sólidos totales en suspensión, durante la época de estiaje se obtiene el valor de 157 mg/L y al aplicar la rizofiltración se obtiene 250 mg/L, mientras que durante la época de avenida se obtiene el valor de 61mg/L y al aplicar la rizofiltración el valor aumenta a 457mg/L (Figura N° 20).

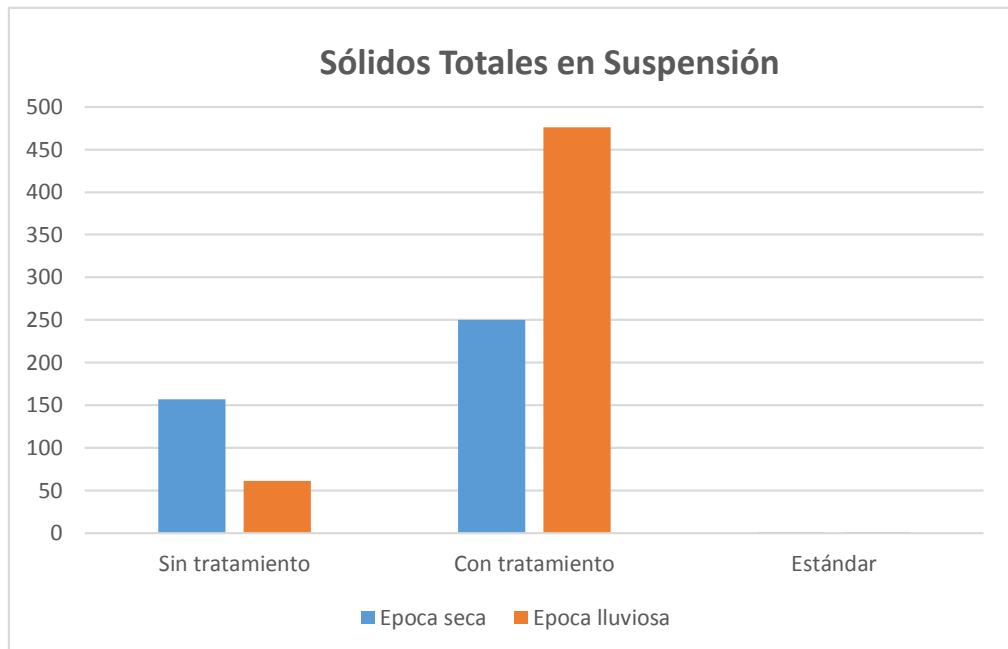


Figura N° 20: Niveles de Sólidos Totales en Suspensión encontrados en el agua del Rio Moche, antes y después de la rizofiltración con “junco” en época de estiaje y avenida.

4.4. Relación entre la rizofiltración y la calidad del agua

La relación que existe entre la rizofiltración y la calidad del agua del Río Moche, depende básicamente de la presencia de sólidos totales en suspensión; a mayor presencia de estos sólidos menor la eficiencia de la rizofiltración, menor captación de metales; ya que los sólidos funcionan como una barrera que impiden que el junco absorba el metal pesado como es el caso del cromo y suceda lo contrario, aumente la presencia de éste.

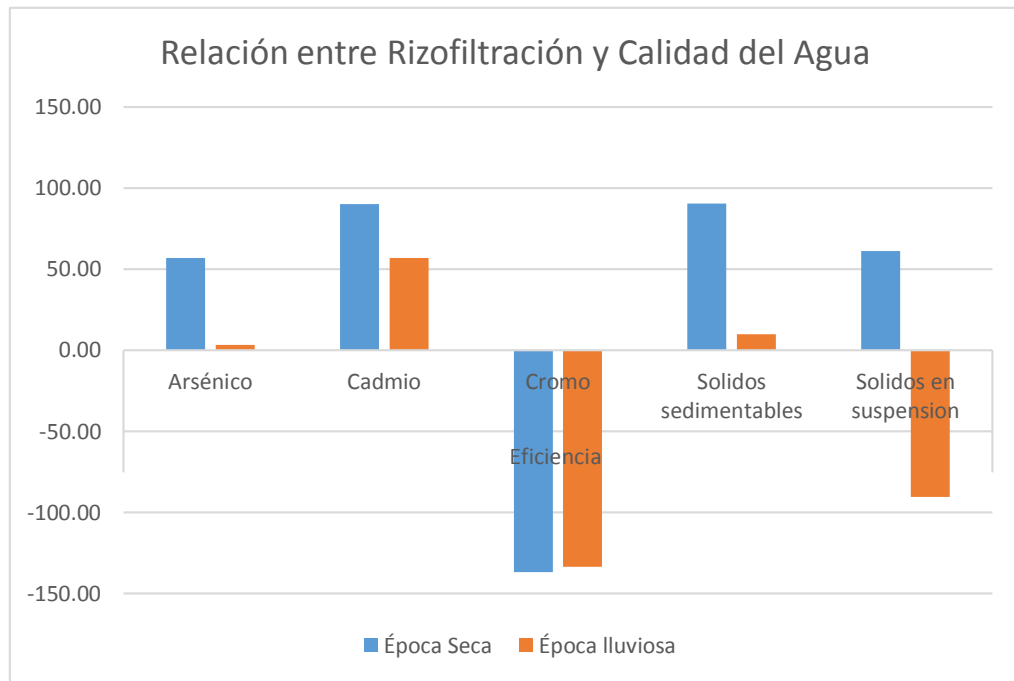


Figura N° 21: Relación entre rizofiltración y calidad del agua del río Moche.

V. DISCUSIONES

La cuenca del río Moche se localiza en la Región La Libertad, comprendiendo total o parcialmente las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán, cuyos efluentes son utilizados para diversas actividades económicas de las cuales resalta la agricultura, ganadería.

Sin embargo, según las autoridades, éstas aguas se encuentran con un alto grado de contaminación por diversos factores siendo la principal actividad contaminante la actividad minera que se realiza en la sierra liberteña, a esto se le suma los vertimientos de la población así como los vertimientos de la actividad industrial, sin dejar de lado la deforestación intensiva y extensiva que se realiza desde la naciente hasta la desembocadura de río, coincidiendo con Corzo (1986), quien nos menciona que las actividades minero – metalúrgicas en el Perú son intensas y por lo tanto de gran significancia en el desarrollo económico nacional, pero al mismo tiempo son responsables de graves problemas

de contaminación sobre el agua, suelos y cultivos como producto de la descarga de sus residuos sólidos y líquidos, el distrito de Otuzco no es la excepción.

Dicha situación ha causado una serie de problemas en la salud de la población puesto que hubo un incremento de las enfermedades diarreicas aguas (EDAs) por la ingesta de alimentos contaminados con metales pesados; en cuanto al ecosistema, la fauna del río ha sido afectada de tal forma que algunas especies acuáticas propias del lugar han ido desapareciendo; en cuanto a la agricultura, dicha actividad se ha visto seriamente deteriorada específicamente en la cuenca alta del río a tal punto de haber desaparecido casi completamente la gran variedad de árboles forestales y frutales, sin dejar de lado la mala calidad de algunos productos que son cosechados por los pobladores. Dentro de los principales distritos del departamento liberteño los distritos de Huanchaco, La Esperanza, Laredo, Moche, Trujillo y Víctor Larco Herrera, son los más afectados por ésta contaminación.

Como ya se mencionó, las aguas del Río Moche tienden a desembocar en el mar, originando la contaminación en el litoral, así como sucedió en el caso de Colombia, cuyas aguas del litoral han sufrido incremento en la contaminación por estos elementos contaminantes durante las dos últimas décadas, siendo las zonas más afectadas aquellas cercanas o donde se han ubicado los principales asentamientos humanos, es el caso de las ciudades de Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Coveñas, Tolú y Riohacha en el Caribe y Buenaventura y Tumaco en el Pacífico (INVEMAR, 2001). Por otro lado Marrugo et al (2007), sostiene que en Colombia, se tienen extensiones litorales de interés económico, cultural, social y turístico, distribuido en las costas del Océano Pacífico y el Océano Atlántico por el norte, siendo esta la de mayor desarrollo turístico, pesquero, portuario y comercial, por lo cual en este medio, se han detectado niveles de contaminación por metales pesados, como el mercurio, en la cuenca del río San Jorge, que según estudios técnicos y científicos ha recibido parte de esta contaminación, representada en las

concentraciones de metales encontrados en aguas, peces y sedimentos de la zona, como consecuencia de los procesos geoquímicos que ocurren en los suelos inundados, vertimientos de aguas servidas de núcleos poblacionales y de las actividades primarias, agroindustriales e industriales.

La contaminación por metales pesados provenientes en su gran mayoría por la actividad minera es un problema que está presente en la gran mayoría de los ríos peruanos, el Río Moche es uno de los ríos cuya calidad de agua se ve afectado, ya que cuenta con la presencia de metales pesados como es el caso del Arsénico, Cadmio y Cromo está por encima del Estándar de Calidad Ambiental, según el Decreto Supremo N° 015 – 2015 MINAM. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes estos valores se obtuvo durante el estudio realizado en dos épocas (época de estiaje y época de avenida). Esto coincide en un estudio realizado por Juárez y Henry (2012) en el río Rímac, donde muestra que los niveles de concentración en los últimos 8 años para el Cd y Cr han sido menores al LMP por lo que no existe un riesgo de contaminación por parte de estos metales, pero en cuanto al Pb es todo lo contrario, ha afectado la cuenca baja las cuales hacen riesgoso el cultivo de hortalizas en estas zonas. En el caso del As en el año 2000 en la cuenca baja fue 8 veces más de lo que el LMP lo permite y para el año 2002 en la cuenca alta fue de 45 veces más que el LMP. La Autoridad Nacional del Agua (ANA), identifica una serie de pasivos ambientales mineros como fuentes contaminantes en la cuenca Chancay, afirmando además que, en época de lluvias, los pasivos contribuyen a concentrar aún más los metales en suelos que naturalmente ya tienen una alta concentración metálica. (ANA, 2009); asimismo Mejia (2016) en un estudio de contaminantes por metales pesados en la cuenca Zaña-Lambayeque concluye que los metales pesados arsénico, cadmio, cromo y mercurio en época de estiaje se encontraban por debajo de los LMP y podrían ser usadas según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-aguas) para el Uso 3: Riego de Vegetales y Bebida para animales.

Durante el estudio realizado en la época de estiaje (mes de diciembre) y avenida (mes de mayo), se afirma que existe la presencia de sustancias tóxicas como es el caso de metales pesados concentradas en niveles por encima del ECA, lo cual repercute en las actividades económicas que se desarrollan a base de éstas aguas; corroborando el diagnóstico realizado por el Ministerio de Agricultura (1984) mediante un estudio de la calidad del agua de la cuenca del río Moche afirmando la presencia de sustancias tóxicas, observando que éstas sustancias se concentran en la cuenca alta del río y dentro de estos elementos se encuentra cadmio, mercurio y plomo, los cuales son representados como elementos más dañinos por superar a casi todos los límites máximos permisibles para la mayoría de usos establecidos por la Ley General de Aguas.

Así mismo, durante la época de avenida se pudo observar que las aguas del río Moche tenían un color amarillento intenso producto de las lluvias y la presencia de diversos sólidos y sustancias, este mismo suceso se presentó en el año 1998, donde Malca manifiesta que el color de esta agua se debe a las reacciones entre iones férricos y el agua, esta reacción generaba una masa amarillenta que causaba la acidez y la exterminación de la biota del río Moche. Y esto es corroborado por Huaranga et. al. (2012) quien confirma que en el año 2010 los niveles de concentración de fierro son los mismos de hace 10 años, además corroboran que la elevada concentración de fierro puede deberse al aporte de residuos industriales y aguas drenadas de la mina en explotación.

Es por ello que la presencia de éstas sustancias tóxicas afectan en la calidad del agua, alterando las características físico – química y microbiológicas del Río Moche, irrumpiendo el crecimiento económico de la población quienes se dedican a la agricultura y emplean estas aguas para la agricultura y en algunos casos para el consumo humano. Según el estudio realizado por Corcuera y Sánchez (2012) corrobora que los resultados del estudio en ciertos valores varían la calidad del agua

arrojando valores de DBO5, sólidos totales disueltos, presencia de metales pesados como cromo, arsénico y cadmio; todos ellos en niveles superiores a los parámetros establecidos incumpliendo con el estándar de calidad para la conservación del ambiente acuático así como para el consumo humano.

Coronel (2016) sostiene que la naturaleza tiene sus propios métodos para limpiar sus aguas, desde tiempos antiguos las plantas han tenido un papel fundamental en la depuración del agua debido a sus propiedades bioacumulativas, capacidad de proliferación y adaptación a casi cualquier ambiente; en este sentido, la fitorremediación es una técnica de biorremediación, que emplea plantas verdes para recuperar ambientes contaminados, como suelos, aguas superficiales o subterráneas, sedimentos, residuos radiactivos, entre otros. Boguski et al. (2009); Olguin et al. (2007). Y es por ello, que ante la presencia de la actividad minera, se opta por aplicar la técnica de rizofiltración, ya que es una técnica de fitoremediación que usa raíces de plantas para descontaminar agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados con metales pesados, toxinas orgánicas, entre otros elementos (García et al. 2005).

En la India se aplicó para el tratamiento de agua contaminada con cadmio, plomo y níquel empleando raíces de mostaza, geranio y girasol. Esta técnica se ha aplicado incluso para el tratamiento de agua con residuos radiactivos, en Chernobyl (Ucrania), donde se usaron plantas de girasol. Se considera sin embargo, que la rizofiltración está aún en fase de investigación (Mejía, 1997). Razón por la cual se vio necesario aplicar esta técnica con el fin de recuperar agua superficial de río, obteniendo buenos resultados, ya que las raíces de la planta a emplear se adaptaron al ambiente artificial, absorbiendo los metales pesados, simulando el efecto natural que realiza la misma fuente de agua natural.

VI. CONCLUSIONES

- ♦ Se logró identificar como principales contaminantes por actividad minera en la Cuenca Alta del Río Moche, los metales pesados como: Arsénico, Cromo y Cadmio, sobre los cuales se llevó a cabo el desarrollo del estudio.
- ♦ La técnica de rizofiltración empleada para determinar la efectividad de los metales pesados (Cd y As), mostró un elevado grado efectividad durante la época de estiaje (El Cadmio disminuyó de 0.0886 mg/L a 0.00889 mg/L y el Arsénico disminuyó de 0.03950 mg/L a 0.01704 mg/L), obteniendo más del 50% de efectividad en comparación a la efectividad llevada a cabo durante la época de avenida (El Cadmio disminuyó de 0.0232 mg/L a 0.00997 mg/L y el Arsénico disminuyó de 0.19249 mg/L a 0.18601 mg/L). Sin embargo cabe señalar que el Cromo aumentó considerablemente su presencia en las dos épocas (Época de estiaje aumentó de 0.003 mg/L a 0.0071 mg/L; época de avenida aumentó de 0.0033 mg/L a 0.0077 mg/L) sin embargo no sobrepasa los ECA para aguas en relación a la categoría 3 (Riego de vegetales)
- ♦ La variación de la calidad del agua del Río Moche, mostró una variación considerable dentro de los parámetros, especialmente en los parámetros de sólidos sedimentables (En la época de estiaje aumentó de 3.17 mg/L a 10 mg/L mientras que en la época de avenida aumentó de 0.3 mg/L a 9 mg/L).
- ♦ La relación entre la rizofiltración y la calidad de agua, se debe producto de la presencia de los sólidos sedimentables, ya que a mayor presencia de los mismos, menos efectiva es la rizofiltración y por ende a calidad de agua no es aceptable.

VII. RECOMENDACIONES

- ◆ El estudio del junco (*Schoenoplectus californicus*) como agente descontaminante de metales pesados trajo consigo un resultado favorable, es por ello que se recomienda utilizar esta planta en puntos estratégicos a lo largo del río Moche para su descontaminación.
- ◆ Se recomienda utilizar plantas que están en pleno proceso de crecimiento, puesto que durante su desarrollo tienen la capacidad de captar mayor cantidad de metales pesados de tal manera que se evita una posible pérdida de contención de dichos contaminantes.
- ◆ Es importante recordar que la capacidad de depuración de metales pesados en el agua mediante la Rizofiltración, está en función a la cantidad de plantas utilizadas, es así que se recomienda realizar monitoreos continuos del agua para verificar su calidad y ver si es necesario aumentar el número de plantas.
- ◆ Se recomienda utilizar un sistema de recirculación de agua para evitar la acumulación de los sólidos sedimentables y los sólidos totales en suspensión puesto que estos sólidos funcionan como una barrera que impiden que el junco absorba el metal pesado y por ende la efectividad de la rizofiltración se ve afectada.
- ◆ Considerar los valores obtenidos en esta investigación como línea base para la comparación con otros estudios a futuro o estudios de similar característica, asimismo se recomienda seguir investigando nuevas técnicas de biorremediación.
- ◆ Este proyecto de investigación se tenía previsto realizarlo solo en la época de estiaje (Noviembre 2016 – Febrero 2017), sin embargo por las condiciones climáticas presentadas en el mes de febrero se tuvo que posponer para la época de avenida (Mayo del 2017).

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ◆ Agencia de Protección Ambiental de las Naciones Unidas-EPA. (1978). In-depth Studies on Health and Environmental Impacts of Selected Water Pollutants.
- ◆ ANA. Autoridad Nacional del Agua. (2009). Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (PMGRH). Diagnóstico De Los Problemas Y Conflictos De La Gestión Del Agua En La Cuenca Chancay-Lambayeque. Lima - Perú.
- ◆ Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Santiago de Cali, Colombia.
- ◆ Blanco, G. (1972). Manual de cloración de agua potable, aguas residuales, refrigeración agua, procesos industriales, y piscinas. Cincinnati, Ohio, Estados Unidos. Editorial Van Nostrand Reinhold Co.
- ◆ Boguski, T., Leven, B. y Martin, S. 2009. Fitorremediación en Campos Contaminados. Informes de Ciencia y Tecnología Ambiental para Ciudadanos.
- ◆ Carpena, R. y Bernal, P. 2007. Claves de Fitorremediación: Tecnologías para la Recuperación de Suelos. Revista Ecosistemas. España
- ◆ Cañizares R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa. (42: 131-143 pp). Revista Latinoamericana de Microbiología.
- ◆ Castro, M. (1987). Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima, Editorial Cepis.
- ◆ Chereque, M. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Editor CONCYTEC.
- ◆ Corzo R. (1986). El Problema de los residuos Mineros en el Perú, Encuentro Latinoamericano sobre Residuos Peligrosos y Residuos Mineros, Ministerio de Salud, Dirección Técnica de Saneamiento Ambiental, Lima Perú.
- ◆ EPA. Environmental Protection Agency. 2001. Medidas Fitocorrectivas.
- ◆ Eróstegui, C. (2009). Contaminación por metales pesados. Bolivia. Gaceta Médica

- ♦ Fernández, L. 2013. Capacidad Acumuladora de Cadmio en Raíces de *Scirpus californicus* Expuesta a Diferentes Concentraciones de Nitrato de Cadmio en Condiciones de Laboratorio. Tesis para obtener el título profesional de Biólogo. Trujillo-Perú
- ♦ Galán, E y Romero, A. (2008). Contaminación de suelo por Metales pesados. Sevilla – España. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química.
- ♦ Garay, J. y Panizzo, L. (1993). Manual de técnicas analíticas de parámetros físico-químicos y contaminantes marinos. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. Cartagena, Colombia.
- ♦ García J, Morató J, Bayona J. (2005). Depuración con sistemas naturales: Humedales construidos. Barcelona (España). Universidad Politécnica de Cataluña.
- ♦ Guevara, E. y Cartaya, H. (1991). HIDROLOGIA. Una introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada. (358 p). Valencia, Venezuela. GUECA EDICIONES
- ♦ Guevara, A., De la Torre, E., Villegas A., Criollo. E. (2009). Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuros que contienen Cromo, Cobre y Cadmio. Venezuela. Universidad Simón Bolívar.
- ♦ Hernández, E. (2005). Importancia del agua para los seres vivos. Universidad Bicentennial de Aragua. Aragua, Venezuela.
- ♦ Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., Huaranga, A., (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010. La Libertad – Perú. Universidad Nacional de Trujillo.
- ♦ Jing Y., He Z., Yang X. (2007) Role rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soil. (8: 192-207 pp). Journal Zhejiang Univ.
- ♦ Krause, T. y Stover, E. (1982). Evaluación de las técnicas de tratamiento de agua para eliminación de bario. American Water Works Association. Estados Unidos.

- ♦ Logsdon, G. y Symons, J. (1973). Eliminación de mercurio en el agua con tratamiento y técnicas convencionales. American Water Works Association. Estados Unidos
- ♦ López, S., Melaj, M., Tomellini, G. y Martin, O. 2005. Rizofiltración en el Tratamiento de Agua Contaminadas con Uranio.
- ♦ Mejía, O. 2016. Contaminación de agua por metales producto de la actividad minera metálica en el río Zaña, Chiclayo- Lambayeque – Junio 2014 - Abril 2015. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Lambayeque. UDL.
- ♦ Mejía R. (1997), Diseño, restauración y rehabilitación de cauces con materiales naturales, Tesis especialización. México DF. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- ♦ Mendoza, M. (1996). Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca rio Sábalos. Cuenca del río San Juan Turrialba, (81 p). Costa Rica. CR CATIE.
- ♦ Ministerio de Agricultura. (1984). Cuenca del Río Moche. Perú. Administración de Ministerio de Agricultura.
- ♦ Ministerio del Ambiente. MINAM. (2012). Glosario de términos para la Gestión Ambiental. Perú. Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental.
- ♦ Musy, A. (2001). Hidrología general. Escuela Politécnica Federal de Lausanne. Laboratorio de hidrología y paisajismo. Lausana, Suiza.
- ♦ Musy, A. (2001). Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. EE.UU. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement.
- ♦ Olguin, E., Sánchez, G. y Pérez, T. 2007. Evaluación del Potencial de la Fitorremediación en Salvinia Minima Comparado con Spirodela Polyrhiza en Aguas Residuales Orgánicas de Alta Resistencia. Contaminación del agua, aire y suelo.
- ♦ Ongley, E. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudios de la FAO riego y drenaje. Roma Italia. FAO

- ♦ Organización Mundial para la salud, (OMS) (1993). Consideraciones sobre el programa medio Ambiente y salud en el Istmo Centroamericano San José, Costa Rica.
- ♦ Ordoñez, J (2011). “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico”. LIMA – PERÚ. Sociedad Geográfica de Lima.
- ♦ Ortega, H., Benavides, A., Arteaga, R. y Zermeño, A. 2007. Fitorremediación de Suelos por Metales Pesados.
- ♦ Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. Barcelona-España. Editorial OmegaSerrano.
- ♦ M. (2006). Fitorremediación: una alternativa para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.
- ♦ Sorg, T. (1978). Tecnología para el tratamiento y regulación primaria de materia orgánica en el agua. American Water Works Association. Estados Unidos.
- ♦ Trelles, R. (1978). El problema sanitario de las aguas destinadas a la bebida humana con altos contenidos de arsénico, vanadio y flúor. Universidad de Buenos Aires. Instituto de ingeniería Sanitaria. Buenos Aires, Argentina.
- ♦ Villegas, J. (1995). Evaluacion de la calidad del agua en la cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, Bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Turrialba. CR CATIE.

ANEXOS

Anexo 1. Aspecto de la cuenca alta del rio Moche en época de estiaje.



Figura 1: Rio Moche con escasa vegetación y agua durante la época de estiaje.



Figura 2: Rio Moche con presencia de agua verde claro en época de estiaje.

Anexo 2. Aspecto de la cuenca alta del rio Moche en época de avenida



Figura 3: Rio Moche con abundante vegetación y agua en la época de avenida.



Figura 4: Rio Moche con presencia de agua amarillenta en época de avenida.

Anexo 3. Toma de muestras agua en la cuenca alta del rio Moche.



Figura 5: Toma de muestras de agua en la época de estiaje.



Figura 6: Toma de muestras de agua en la época de avenida.

Anexo 4. Control y registro de las muestras de agua.



Figura 7: Registro de las muestras de agua.

Anexo 5. Sistema de hidroponía.



Figura 8: Adaptación de las plantas al sistema hidropónico en la época de estiaje



Figura 9: Adaptación de las plantas al sistema hidropónico en la época de avenida.

Anexo 6. Crecimiento de escapos.



Figura 10: Crecimiento de nuevos escapos de junco.

Anexo 7. Toma de muestras de agua después del proceso de Rizofiltración.



Figura 11: Toma de muestras de agua en la época de estiaje en el vivero San Luis.



Figura 12: Toma de muestras de agua en la época de avenida en el vivero San Luis

Anexo 8: Estándares de Calidad Ambiental para Agua – Categoría 3

CATEGORIAS ECA AGUA: CATEGORIA 3		
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO
FÍSICOS - QUÍMICOS		
Aceites y grasas	mg/L	5
Bicarbonatos	mg/L	518
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cloruros	mg/L	500
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)
Conductividad	(uS/cm)	2 500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2
Fenoles	mg/L	0,002
Fluoruros	mg/L	1
Nitratos (NO3--N) + Nitritos (NO2--N)	mg/L	100
Nitritos (NO2--N)	mg/L	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4
Potencial de Hidrógeno (pH) 6,5 – 8,4	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sulfatos	mg/L	1000
Temperatura	°C	Δ 3
INORGÁNICOS		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,1
Bario	mg/L	0,7
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	1
Cadmio	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	0,2
Cobalto	mg/L	0,05
Cromo Total	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	5
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	**
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,02
Zinc	mg/L	2

Tabla 1: ECA según el Decreto Supremo N° 015 – 2015 – MINAM.

PARÁMETRO	UNIDAD	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido ©	Agua para riego restringido
FÍSICOS - QUÍMICOS			
Aceites y grasas	mg/L	5	
Bicarbonatos	mg/L	518	
Cianuro Wad	mg/L	0,1	
Cloruros	mg/L	500	
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	
Conductividad	(uS/cm)	2 500	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	
Fenoles	mg/L	0,002	
Fluoruros	mg/L	1	
Nitratos (NO3--N) + Nitritos (NO2--N)	mg/L	100	
Nitritos (NO2--N)	mg/L	10	
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥4	
Potencial de Hidrógeno (pH) 6,5 – 8,4	Unidad de pH	6,5 – 8,5	
Sulfatos	mg/L	1000	
Temperatura	°C	Δ 3	
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Bario	mg/L	0,7	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	1	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cobre	mg/L	0,2	
Cobalto	mg/L	0,05	
Cromo Total	mg/L	0,1,	
Hierro	mg/L	5	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	**	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Níquel	mg/L	0,2	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,02	
Zinc	mg/L	2	

Tabla 2: ECA según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Anexo 9: Límites Máximos Permisibles para Agua.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO – METALÚRGICOS			
Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
pH	mg/L	6 a 9	6 a 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Tabla 3: Límites Máximos Permisibles según el Decreto Supremo N° 010-2010 MINAM.